

中期数值天气预报的集合预报试验

蔡其发 张立凤 张 铭

(空军气象学院, 南京 211101)

摘 要 利用中国科学院大气物理研究所研制的 T42L9 谱模式, 在中期数值预报领域中引入集合预报的概念和方法, 初始扰动场取为 T42L9 谱模式 24 小时预报误差的平均均方差乘随机数, 再综合利用蒙特卡洛预报 (MCF) 和落后平均预报 (LAF) 两种方法作集合预报试验, 试验结果表明: 各成员预报的等权平均或不等权平均的集合预报明显优于单一的控制预报; 不等权平均与等权平均的集合预报结果相比较, 不等权平均的集合预报优势较明显; 在不等权平均的集合预报中, 区域性不等权平均又比全球性不等权平均的预报稍好。

关键词 中期数值天气预报 集合预报 试验

1 引言

数值预报是以某个初始场为基础, 通过逐日积分来做预报的, 因而初始场具有极端重要的意义。但是初始场又不可避免地带有一定的误差, 即有某种不确定性, 因此数值预报就有一定的随机性, 特别是对短期气候预测而言。为了克服这个问题, Leith^[1]提出了一种随机动力预报方法, 建议用多个预报的集合来计算统计平均。集合预报方法从提出至今, 主要是用于短期气候预测领域, 如: Miyakoda 等^[2]首先用大气环流模式做了 30 天平均的有意义的动力预报。Murphy 等^[3]也证实了用大气环流模式能较好的制作经过时间或空间滤波的具有使用价值的预报。胡增臻等^[4]利用动力、统计方法相结合, 建立了一个带随机初值和随机强迫的简单动力模式作集合预报试验, 获得了比单纯的动力模式或随机模式更好的结果。Baumhefner^[5]利用低分辨率的气候模式, 应用集合预报技巧制作 10~30 天的动力延伸预报, 获得了与高分辨率气候模式预报质量相当的预报结果。1992 年美国国家气象中心在中期数值业务预报中引进了集合预报方法^[6], 但目前的中国尚未见到将集合预报方法引入中期数值预报领域的报道。

集合预报的常用做法有两种: 一种是在某个时刻的观测初始状态 (初始场) 上叠加或扣除不同的随机扰动场, 从而得到多个带有不同的随机扰动的初始场, 再由这些不同的初始场分别作预报, 然后把不同的预报结果求平均, 这种方法称为蒙特卡洛预报 (Monte Carlo Forecast, 简称为 MCF), 也有人称做随机扰动预报 (Random Perturbation Prediction); 另一种集合预报方法是 Hoffman 和 Kalnay^[7]提出来的, 这种方法是用相距 6 小时或 12 小时的不同时刻初始场分别作预报, 然后把相同时刻的预报结果求平均, 称为落后平均预报 (Lagged Average Forecast, 简称为 LAF)。具体做法又可分为两种, 即不加权 (aLAF) 和加权 (tLAF), 加权时权重系数根据预报误差

1998-03-25 收到, 1998-05-26 收到修改稿

本工作得到国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论的研究”的资助

决定。对这两种预报方法, Dalcher 等^[8]强调了 LAF 有许多优点。首先, MCF 所用的随机误差的选择是很任意的, 这些扰动在短时间内就会耗散掉, 集合的自由度必然因之减少, 而 LAF 的误差是动力学性质的, 因为这些扰动可能反映最难预报的那一部分变化, 即预报误差, 所以 LAF 的平均是有效的; 其次, MCF 是把当前观测分析做为集合平均, 但观测分析不一定就是最优的平均, 而 LAF 的集合平均是当前观测分析与预报场的平均, 可以反映观测误差的分布。根据以前的观测所做的预报, 能够提供不同于当前观测分析的新的信息, 所以, LAF 的平均初始部分可能优于 MCF 的初始状态的平均, 因而有更好的预报效果。当然, 这只是从原则上进行的讨论, 事实上, 目前的工作已经证明, 这两种集合预报方法对 10~30 天的预报都是有益的。然而, 对中期数值预报而言, 由于其预报时限为 3~10 天, 且目前我国的预报水平为 1 周左右。若用相距 12 小时的 8 个不同时刻的初始场分别作预报, 然后再将其预报结果做集成预报, 预报完成后已是第 4 天了, 所以用这些预报成员做集成预报其效果不一定好。这说明单纯用 LAF 方法做中期数值预报的集合预报可能会影响预报效果的提高。

我国中期数值天气预报业务起步较晚, 与世界先进水平相比也还有一定差距, 为了赶超中期数值天气预报业务的先进水平, 在预报技巧上下功夫是很有必要的。因此, 本文在微机上利用中国科学院大气物理研究所的全球中期谱模式 T42L9^[9], 综合考虑蒙特卡洛预报 (MCF) 和落后平均预报 (LAF) 两种方法的特点, 在中期数值天气预报领域对集合预报的方法作了初步探讨。

2 集合预报试验方案设计

根据集合预报概念可知, 要使集合预报达到理想的结果, 必须产生多个合适的预报成员。Leith 证实集合预报是最小平方意义上的最优预报, 并用实例模拟表明, 预报成员的个数在 8 个左右为宜^[1], 故本文预报成员的个数取 9 个。根据顾震潮先生早在 50 年代就提出的数值天气预报中引用初始时刻以前的多个时次历史资料的思想^[10], 为了作 8 天的逐日预报, 这 9 个预报成员可这样取: 每天用 T42L9 模式对 12 时 (世界时) 的初始场做 10 天的预报, 再对该初始场加上或扣除反映初始误差的扰动场后做 10 天的预报 (如图 1 所示)。这样无需增加多少计算机资源即可在 8 天预报时段内有 9 个预报成员可供集合处理, 并且每天只需作 3 个成员的预报。

3 资料来源和扰动场的生成

本文所用的全球格点资料取自国家气象中心 1991 年 7 月 1~27 日, 8 月 1~31 日共 58 天的逐日 12 时 (世界时) 实况资料, 水平分辨率为 2.5×2.5 经纬度, 温度场、位势高度场和风场的垂直分辨率为 8 层, 相对湿度场的垂直分辨率为 5 层 (见表 1)。

该资料的垂直分辨率与本文所用的 T42L9 谱模式初始场所必需的垂直分辨率不同, 因此利用该资料作初始场运行 T42L9 谱模式还须对其作一些处理: 对位势高度场和风场所缺的资料利用其上下两层的资料, 采用气压对数线性插值进行内插得到; 对相对湿度场所缺的资料则根据气压作线性内插得到。

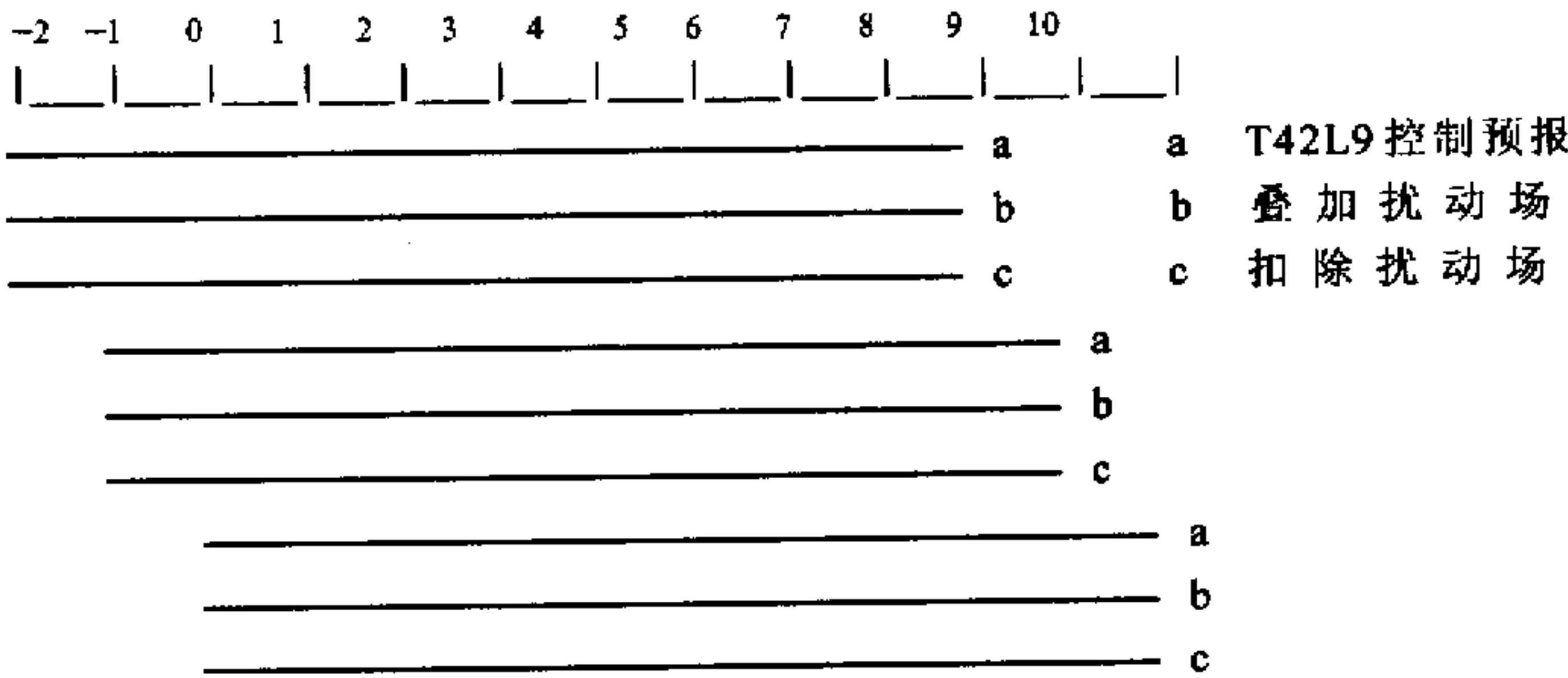


图 1 集合预报流程图

表 1 资料简况

要素名	层次 / hPa	单位 (含精度)
温度	50, 100, 200, 300, 500, 700, 850, 1000	0.1 K
位势高度	50, 100, 200, 300, 500, 700, 850, 1000	1 gpm
纬向风 u	50, 100, 200, 300, 500, 700, 850, 1000	0.01 m/s
经向风 v	50, 100, 200, 300, 500, 700, 850, 1000	0.01 m/s
相对湿度	300, 500, 700, 850, 1000	100%
海平面气压	海平面	0.1 hPa

由于中期数值天气预报中初始场的不可避免的误差使中期预报产品具有“随机性”，理论和实践均表明，如果初始场上叠加一个能反映初始场的不确定性的扰动，则集合预报能够比用原始初始场所做的控制预报 (control forecasting) 提供更有用的信息。本文经试验比较后认为，集合预报中的扰动场取随机场 $\sigma \cdot \mu$ 较好，这里 σ 为 T42L9 谱模式 24 小时预报误差场的平均均方差 (取值见表 2)， μ 是服从 $[-1, 1]$ 之间均匀分布的随机数。

表 2 T42L9 谱模式 24 小时各层预报误差均方差之平均值

层次 / hPa	1000	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50
H / gpm	36.65	31.59	31.37	38.79	44.64	49.32	53.74	54.06	74.30	70.13	60.26	65.60
$u / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	3.51	3.65	4.03	4.64	5.30	5.82	6.03	6.49	6.04	5.81	5.36	4.95
$v / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	3.67	3.70	4.48	5.13	6.02	6.20	6.20	6.56	5.81	5.63	5.38	5.28

4 诸成员预报集合平均的制作及效果检验

4.1 等权平均

等权平均就是将 9 个预报成员的权重简单地取为等值，作算术平均即得集合预报结

果。

4.2 全球整体性不等权平均

从图 1 中可知, 9 个预报成员既有 MCF 成份, 又含有 LAF 的思想。初始同一时刻的 3 个预报成员之间仅反映当前观测分析的集合平均, 是 MCF 的集合平均, 因此它们之间应是等权的; 而初始不同时刻的预报成员的集合平均是 LAF 的集合平均, 它们对未来某时刻的影响是不同的, 因此它们之间的权重系数应有区别。本文把它们之间权重系数的选取与模式的预报准确率联系了起来。具体操作步骤如下:

(1) 梯度技巧得分的计算

利用现有的 58 天实况资料计算 T42L9 模式预报第 1~10 天各物理量在各层的平均梯度技巧得分。梯度技巧得分按下式计算^[11]:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \left| \frac{\partial A_f}{\partial x} - \frac{\partial A_o}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial A_f}{\partial y} - \frac{\partial A_o}{\partial y} \right| \right\}_i}{\sum_{i=1}^N \left\{ \max \left(\left| \frac{\partial A_f}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial A_o}{\partial x} \right| \right) + \max \left(\left| \frac{\partial A_f}{\partial y} \right|, \left| \frac{\partial A_o}{\partial y} \right| \right) \right\}_i}, \quad (1)$$

式中, A_f 、 A_o 分别表示某要素场的预报值、实况值, N 表示空间区域内总格点数, i 表示空间区域内格点序列号。梯度技巧得分 S 是以气压或高度的梯度预报误差为主要因子的统计量, 表示对等压面或等高面上槽脊强度和形态模拟的精确度。从 S 的表达式可知, 等压面或等高面上两个要素场的槽脊强度和形态越相似, S 的值越小。表 3 给出了位势高度预报场的各层的平均梯度技巧得分。

表 3 位势高度预报场的各层平均梯度技巧得分

层次/hPa	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天
1000	0.514	0.654	0.738	0.795	0.823	0.845	0.857	0.863	0.864	0.868
850	0.435	0.579	0.668	0.727	0.756	0.779	0.792	0.799	0.801	0.808
700	0.399	0.538	0.624	0.678	0.704	0.727	0.741	0.747	0.751	0.756
500	0.383	0.537	0.618	0.665	0.688	0.708	0.720	0.725	0.727	0.731
300	0.385	0.517	0.587	0.628	0.651	0.668	0.677	0.683	0.683	0.689
200	0.348	0.461	0.528	0.566	0.586	0.597	0.605	0.613	0.615	0.621
100	0.368	0.447	0.481	0.497	0.502	0.502	0.505	0.512	0.514	0.521

(2) 权重系数的选取

假设某要素 Y (其成员预报 Y_i , $i=1, 2, 3, \dots, 9$ 分布如图 2) 在全球各网格点处处是等权的, 它在第 $n-2$ 、 $n-1$ 、 n 天在某层上的平均梯度技巧得分分别为 a_{n-2} 、 a_{n-1} 、 a_n , 则第 n 天该层要素预报场 LAF 集合平均的权重系数在全球各网格点都为

$$\frac{1 - a_n}{(1 - a_{n-2}) + (1 - a_{n-1}) + (1 - a_n)},$$

要素 Y 在第 n 天的加权平均 $\bar{Y}$ 为

$$\bar{Y} = \frac{1}{3} \frac{1 - a_{n-2}}{(1 - a_{n-2}) + (1 - a_{n-1}) + (1 - a_n)} (Y_1 + Y_2 + Y_3)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{3(1-a_{n-2}) + (1-a_{n-1}) + (1-a_n)} (Y_4 + Y_5 + Y_6) \\
& + \frac{1}{3(1-a_{n-2}) + (1-a_{n-1}) + (1-a_n)} (Y_7 + Y_8 + Y_9). \quad (2)
\end{aligned}$$

4.3 全球区域性不等权平均

张道民等对 T42L9 谱模式进行误差检验及订正发现, 高度场沿纬圈方向平均预报误差随纬度变化; 东、西半球的平均预报误差也不尽相同^[12]。因此, 将全球划分成如图 3 所示的 10 个区域, 然后利用现有的 58 天实况资料计算 T42L9 模式预报第 1~10 天各层物理量在各区域的平均梯度技巧得分。表 4 为 500 hPa 位势高度预报场在各区域的平均梯度技巧得分。

最后, 其权重系数的选取与全球整体性不等权平均方法中的权重系数取法相似: 设某层要素 Y 在第 $n-2$ 、 $n-1$ 、 n 天在 S_m 区域内的平均梯度技巧得分分别为 $a_{m,n-2}$ 、 $a_{m,n-1}$ 、 $a_{m,n}$, 则在第 n 天该要素预报场 LAF 集合平均的权重系数在 S_m 区域内为

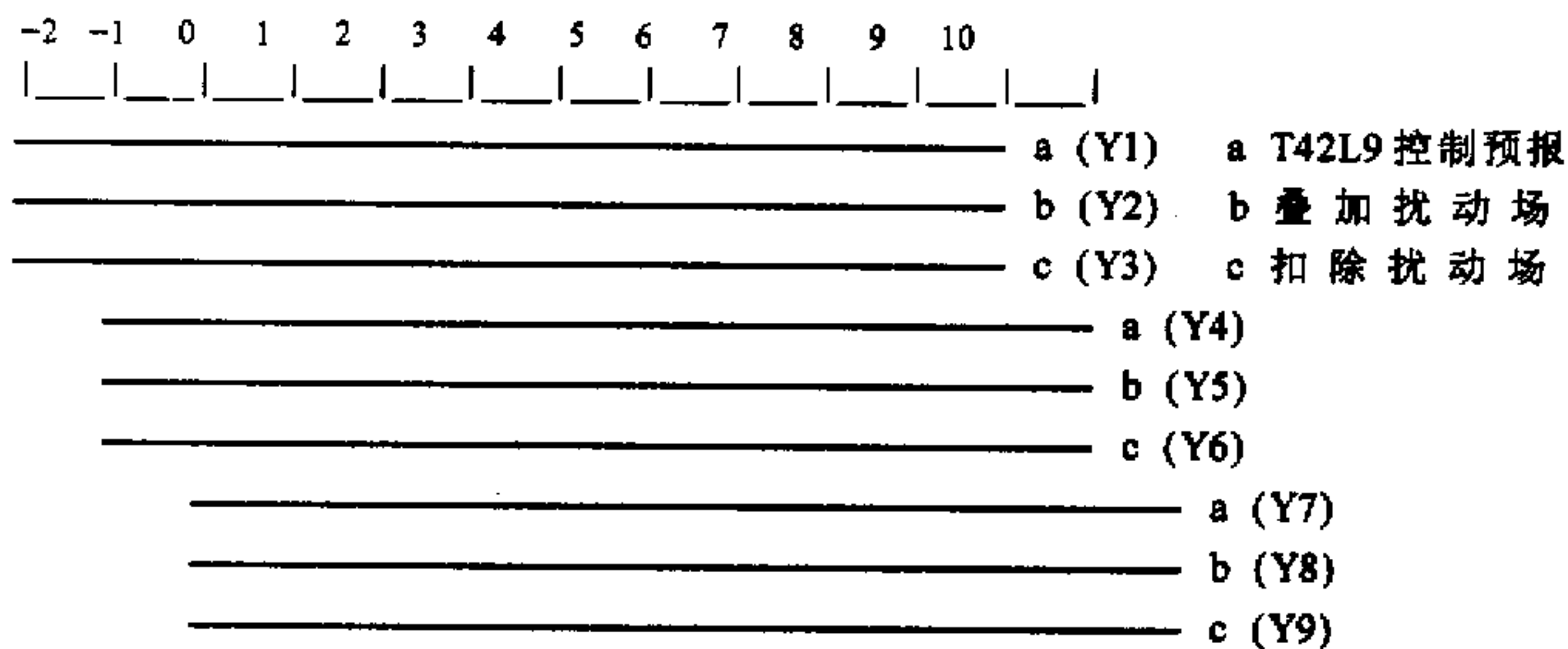


图 2 要素 Y 的成员预报示意图

90°N	S5 区		S10 区	
60°N	S4 区		S9 区	
30°N	S3 区		S8 区	
0°	S2 区		S7 区	
30°S	S1 区		S6 区	
60°S				
90°S				
	0°	东半球	180°	西半球

图 3 全球区域划分示意图

$$\frac{1 - a_{m,n}}{(1 - a_{m,n-2}) + (1 - a_{m,n-1}) + (1 - a_{m,n})},$$

要素 Y 在该区域内第 n 天的加权平均 $\bar{Y}$ 为

$$\begin{aligned} \bar{Y} = & \frac{1}{3} \frac{1 - a_{m,n-2}}{(1 - a_{m,n-2}) + (1 - a_{m,n-1}) + (1 - a_{m,n})} (Y_1 + Y_2 + Y_3) \\ & + \frac{1}{3} \frac{1 - a_{m,n-1}}{(1 - a_{m,n-2}) + (1 - a_{m,n-1}) + (1 - a_{m,n})} (Y_4 + Y_5 + Y_6) \\ & + \frac{1}{3} \frac{1 - a_{m,n}}{(1 - a_{m,n-2}) + (1 - a_{m,n-1}) + (1 - a_{m,n})} (Y_7 + Y_8 + Y_9). \end{aligned} \quad (3)$$

表 4 500 hPa 位势高度预报场在各区域平均梯度技巧得分

区域	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
第 1 天	0.522	0.305	0.605	0.367	0.288	0.414	0.314	0.556	0.321	0.336
第 2 天	0.652	0.455	0.706	0.539	0.437	0.578	0.470	0.660	0.510	0.520
第 3 天	0.739	0.514	0.721	0.635	0.553	0.673	0.540	0.703	0.604	0.657
第 4 天	0.791	0.554	0.742	0.676	0.647	0.725	0.594	0.711	0.644	0.768
第 5 天	0.785	0.576	0.737	0.714	0.711	0.736	0.603	0.727	0.669	0.821
第 6 天	0.803	0.593	0.736	0.746	0.772	0.731	0.612	0.728	0.690	0.898
第 7 天	0.811	0.597	0.739	0.772	0.800	0.779	0.621	0.740	0.706	0.939
第 8 天	0.840	0.612	0.747	0.778	0.807	0.799	0.622	0.741	0.717	0.953
第 9 天	0.824	0.631	0.748	0.783	0.827	0.808	0.613	0.753	0.736	0.947
第 10 天	0.826	0.631	0.747	0.792	0.825	0.808	0.629	0.753	0.757	0.957

4.4 集合平均结果与控制预报结果的比较

利用 1991 年 7 月的资料作 3~12 日连续 10 天集合预报试验, 分别计算出等权平均和不等权平均集合预报的位势高度、海平面气压等 10 天的平均均方差及平均梯度技巧得分, 并与控制预报 10 天的平均均方差及平均梯度技巧得分相比较 (见表 5、6)。

分析表 3 可知: T42L9 谱模式对高层物理量场的预报能力比低层的要强。从表 4 得到: 该模式对南半球 60~30°S 区域内的天气系统预报得最好, 其主要原因是南半球

表 5 集合预报与控制预报 500 hPa 位势高度平均均方差及平均梯度技巧得分比较

	平均均方差 / gpm				平均梯度技巧得分			
	集合预报 (等权 平均)	集合预报 (全球整 体性不 等权平均)	集合预报 (全球区 域性不 等权平均)	控制预报	集合预报 (等权 平均)	集合预报 (全球整 体性不 等权平均)	集合预报 (全球区 域性不 等权平均)	控制预报
第 1 天	55.270	52.155	52.114	41.402	0.458	0.439	0.439	0.397
第 2 天	69.580	68.003	67.870	62.605	0.537	0.529	0.528	0.545
第 3 天	78.703	78.005	77.849	77.689	0.584	0.582	0.580	0.622
第 4 天	84.939	84.711	84.507	90.046	0.608	0.607	0.605	0.667
第 5 天	89.732	89.514	89.080	93.944	0.625	0.624	0.622	0.678
第 6 天	95.209	95.081	94.670	98.976	0.647	0.646	0.645	0.697
第 7 天	100.966	100.924	100.805	105.255	0.665	0.665	0.665	0.715
第 8 天	106.017	105.994	105.969	110.213	0.675	0.675	0.675	0.713

表 6 集合预报与控制预报海平面气压场平均均方差及平均梯度技巧得分比较

	平均均方差 / hPa				平均梯度技巧得分			
	集合预报 (等权 平均)	集合预报 (全球整 体性不 等权平 均)	集合预报 (全球区 域性不 等权平 均)	控制预报	集合预报 (等权 平均)	集合预报 (全球整 体性不 等权平 均)	集合预报 (全球区 域性不 等权平 均)	控制预报
第 1 天	5.324	5.030	5.008	4.507	0.601	0.575	0.573	0.523
第 2 天	6.229	6.099	6.098	6.058	0.694	0.680	0.679	0.672
第 3 天	6.494	6.455	6.460	6.960	0.746	0.740	0.740	0.751
第 4 天	6.641	6.637	6.626	7.448	0.775	0.773	0.773	0.801
第 5 天	6.886	6.864	6.846	7.663	0.792	0.791	0.790	0.816
第 6 天	7.302	7.285	7.252	7.771	0.809	0.808	0.808	0.829
第 7 天	7.792	7.788	7.755	8.404	0.823	0.823	0.822	0.846
第 8 天	8.145	8.144	8.147	8.813	0.827	0.827	0.827	0.854

在 7 月份主要表现为强西风带。比较表 5、6 可得以下 3 点结论:

(1) 无论各成员预报的权重系数是等权还是不等权, 集合预报在第 2 或第 3 天后明显的优于控制预报。500 hPa 位势高度场的集合预报平均均方差在第 4 天后比控制预报要小 5 gpm 左右, 海平面气压的集合预报平均均方差在第 4 天后比控制预报要小 0.5 hPa 以上。500 hPa 位势高度场的集合预报平均梯度技巧得分在第 4 天后比控制预报要小 5 个百分点, 海平面气压的集合预报平均梯度技巧得分在第 4 天后比控制预报要小 2~3 个百分点。

(2) 就集合平均的方法而言, 不等权平均比等权平均稍优, 而区域性不等权平均又比全球整体性不等权平均又稍好。全球整体性不等权平均在第 1~6 天与等权平均相比优势较明显, 500 hPa 位势高度场的平均均方差要小 3~0.1 gpm, 平均梯度技巧得分小 2~0.1 个百分点; 区域性不等权平均与全球整体性不等权平均相比稍优但不很明显, 前 6 天, 500 hPa 位势高度场的平均均方差要小 0.1~0.4 gpm, 平均梯度技巧得分仅小 0.2 个百分点左右。

(3) 从 500 hPa 位势高度场的平均均方差的角度比较, 集合平均预报(等权平均和不等权平均)的第 6 天预报质量与控制预报的第 5 天预报质量大体相当; 从 500 hPa 位势高度场的平均梯度技巧得分的角度比较, 集合平均预报(等权平均和不等权平均)的第 8 天预报质量与控制预报的第 5 天预报质量大体相当。因此, 集合平均预报(等权平均和不等权平均)的第 6 天预报质量与控制预报的第 5 天预报质量至少相当。这说明 T42L9 全球谱模式的集合平均预报至少可将有效预报时效延长 1 天。

5 个例简析

下面从 10 个集合预报试验个例中任选一例, 以 7 月 8、9、10 日实况资料作为初始场, 用集合方法(全球整体性不等权平均)预报 11~18 日的天气形势, 分析集合预报的结果并与控制预报作比较。

从图 4 可以看出, 该例中集合预报的 500 hPa 位势高度场的均方差在第 2.5~6.5 天比控制预报的小, 集合预报的 500 hPa 位势高度场的平均梯度技巧得分从第 2 天起比控

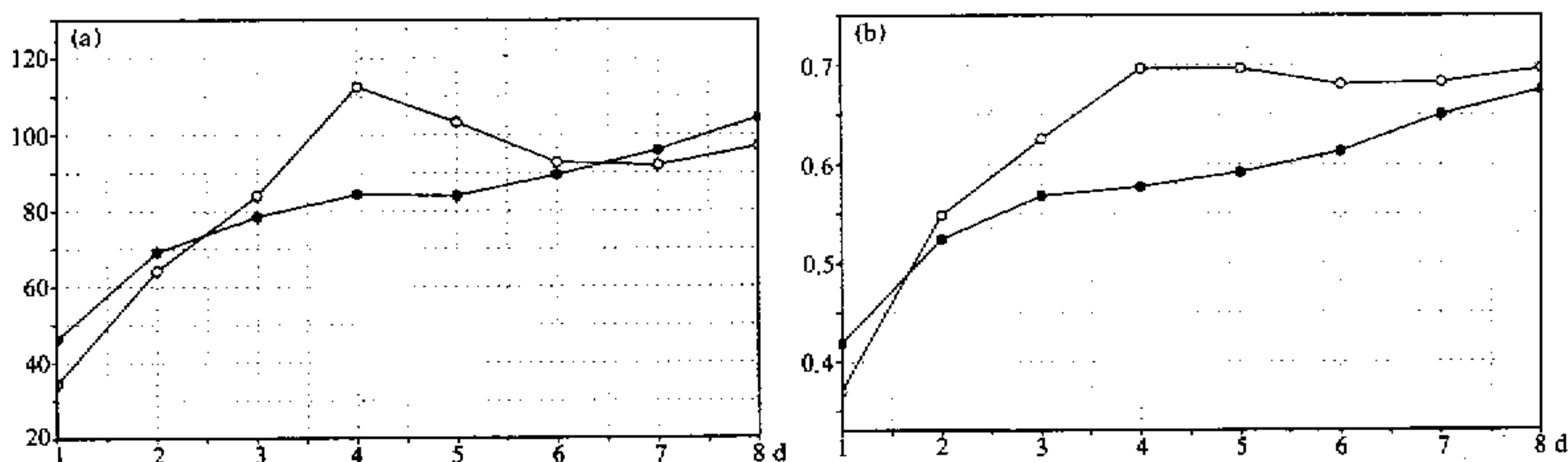


图4 1991年7月10日500 hPa位势高度场集合预报和控制预报比较
(a) 均方差; (b) 平均梯度技巧得分。•: 集合预报; o: 控制预报

制预报的小, 这说明第3天以后的集合预报要比控制预报优。

从500 hPa形势场可见, 第1、2天无论是控制预报还是集合预报, 与实况相比各槽、脊及高、低闭合中心的位置均相同, 但是控制预报的各系统强度比实况稍弱, 集合预报的各系统强度又比控制预报的要弱(图略)。第3天集合预报和控制预报的槽、脊及高、低闭合中心的位置基本相同, 与实况相比较而言, 仍是控制预报的各系统强度比实况稍弱, 集合预报的各系统强度比控制预报的还弱(图略)。到第4~6天, 除集合预报的各系统强度仍比控制预报弱外, 集合预报和控制预报的槽、脊及高、低闭合中心的位置也产生了差异。从总体上说, 集合预报的槽、脊及高、低闭合中心的位置与实况更接近。图5给出了1991年7月16日500 hPa高度场的集合预报、控制预报和实况。到第7、8天, 实况中槽、脊及高、低闭合中心等主要的系统在集合预报中有较好地体现, 而控制预报则产生了更多的小槽、脊, 系统更趋紊乱。

从上例分析中可见, 集合预报优于控制预报主要表现在预报系统的位置, 而对系统强度的预报能力较弱。这是由于集合方法采用的等权平均或不等权平均具有滤波的作用, 从而对系统的强度有所削弱, 但该问题可通过综合各种预报的结果来加以解决。

6 结语

在中期数值天气预报领域中引入集合预报的概念, 综合使用MCF方法和LAF方法产生9个预报成员, 通过对9个预报成员的集合平均所得的平均预报在第4~6天平均梯度技巧得分比控制预报的减小5个百分点左右, 集合预报的第6天预报质量与控制预报的第5天预报质量相当。因此, 集合预报方法确实可以提高中期数值天气预报的准确性, 并且可延长预报时效。

对这9个成员预报的综合利用方面, 今后有待进一步深入研究的问题有: (1) 集合平均的加权平均系数的选取和优化; (2) 通过对各成员预报的聚类分析, 根据各类预报的离散程度对预报可信度作出判定; (3) 对各成员预报的综合利用的方法, 如特征等高线的分析, 各成员预报场的距平中心及强度的分析等。总之, 本文通过对中期数值天气

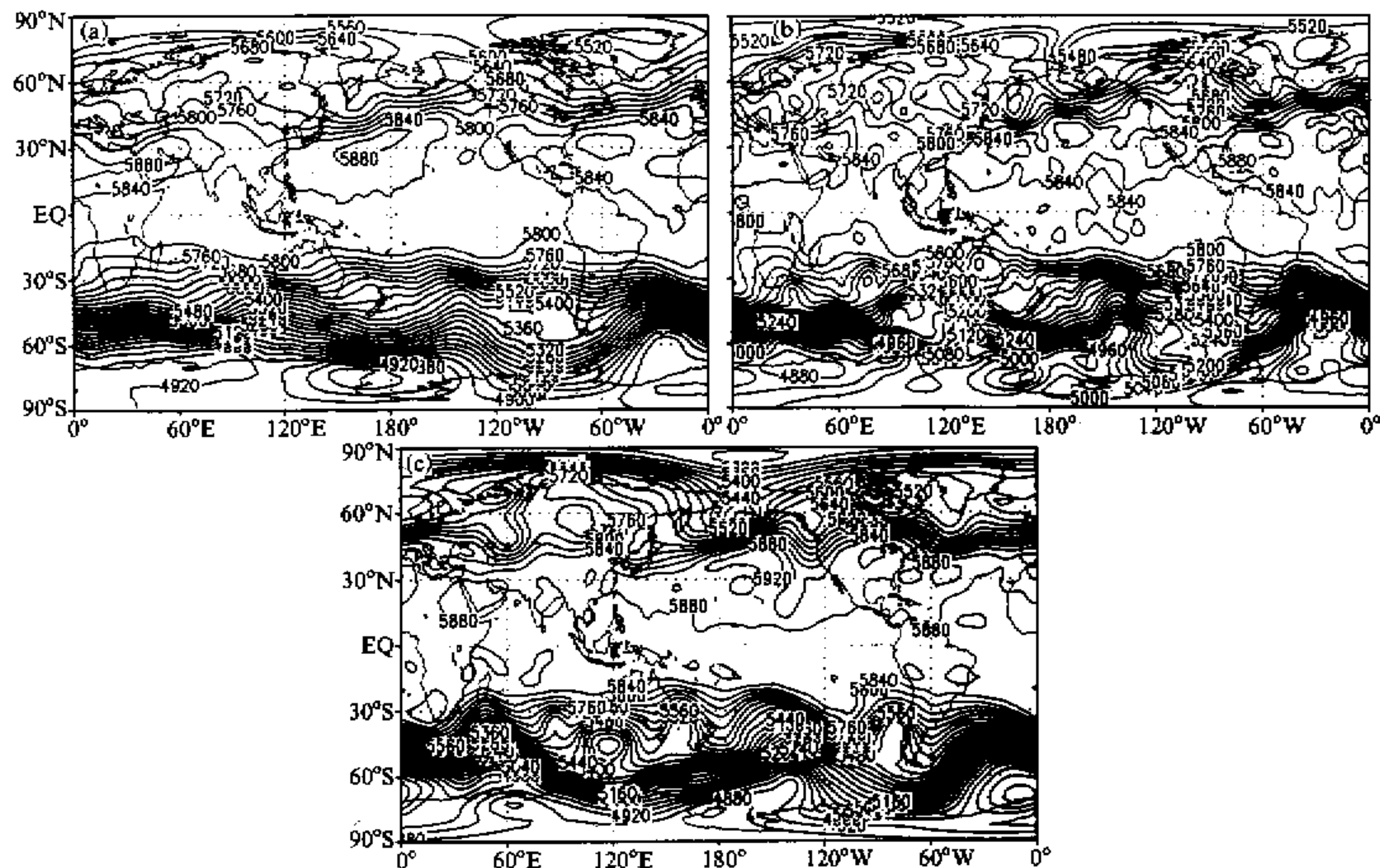


图5 1991年7月16日500 hPa位势高度场
(a) 集合预报; (b) 控制预报; (c) 观测场

预报领域内应用集合预报方法的初步探讨, 表明集合预报方法在中期数值天气预报业务上是大有可为的。

参 考 文 献

- 1 Leith, C.E., 1974, Theoretical skill of Monte Carlo forecasts, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409~418.
- 2 Miyakoda, K. and J. Sritis, 1985, Extended range forecasting, *Advances in Geophysics (Part B)*, **28**, 55~85.
- 3 Murphy, J.M. and A. Dickinson, 1989, Extended-range prediction experiments using an 11-level GCM, *Meteor. Atmos. Phys.*, **40**, 61~83.
- 4 胡增臻、史久恩、张建中, 1991, 带随机初值和随机强迫的简单模式的集合预报试验, *气象学报*, **49**(4), 518~525.
- 5 Baumhefner, D.P., 1996, Numerical extended-range prediction forecast skill using a low-resolution climate model, *Mon. Wea. Rev.*, No.9, 1965~1980.
- 6 Steven, M., Tracton, Eugenia Kalnay, 1993, Operational ensemble prediction at the national meteorological center: practical aspects, *Weather and Forecasting*, **8**(3).
- 7 Hoffman, R.N. and E. Kalnay, 1983, Lagged average forecasting, an alternation to Monte Carlo forecasting, *Tellus*, **35A**, 100~118.
- 8 Dalcher, A., E. Kalnay and R.N. Hoffman, 1988, Medium range lagged average forecasts, *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 402~416.
- 9 纪立人、陈嘉滨、张道民、吴万里等, 1990, 一个包含非绝热物理过程的全球谱模式及其初步试验结果, 中期数值天气预报研究成果汇编〈二〉, 北京: 气象出版社, 27~40.
- 10 顾震潮, 1958, 天气数值预报过去资料的使用问题, *气象学报*, **29**(3), 176~183.

- 11 朱盛明、曲学实, 1988, 数值预报产品解释技术的进展, 气象出版社, 56~59.
12 张道民、纪立人、李金龙, 1996, 月数值天气预报的试验研究, 大气科学, 20(4), 429~438.

The Experiment of Ensemble Forecasting about Numerical Medium-Range Forecasting

Cai Qifa, Zhang Lifeng and Zhang Ming

(The Air Force Institute of Meteorology, Nanjing 211101)

Abstract The conception and method of ensemble forecasting is introduced the field of numerical medium-range forecasting by using the global spectral model T42L9 developed by IAP. The first day's forecasting error of the model T42L9 times random number is regarded as the initial error's disturbance field. Then, the experiment of ensemble forecasting is made by using the methods of Monte Carlo forecasting and lagged average forecasting comprehensively. The results show that the ensemble forecasting of the equivalent and differential weight average, made by each ensemble member, is better distinctly than only control forecasting, and in the ensemble forecasting of differential weight average, the regional differential weight average forecasting is better than the global differential weight average.

Key words numerical medium-range forecasting ensemble forecasting numerical experiment