

一种新的集合预报权重平均方法*

段明铨 王盘兴

(南京信息工程大学大气科学系,南京 210044)

摘 要

提出了一种新的考虑权重的集合预报成员平均方法。使用气候等概率区间来对集合成员进行分组,并根据气候等概率区间的大小及其中的成员数,对集合成员的权重进行调整,得到了一种改进的集合平均预报结果。检验表明,它可以进一步提高集合平均预报的效果。相对于提高模式分辨率或发展庞大的集合预报系统,这种方法的效果是显著的。

关键词:集合预报;集合平均;权重;气候等概率区间

引 言

过去15年来,集合预报方法得到广泛应用。美国^[1-2]、欧洲^[3]、加拿大^[4]、中国^[5-8]等都先后建立了(准)业务集合预报系统(EPS)。集合平均预报是集合预报的初级产品。研究表明,集合平均预报比单一确定性预报具有更高的预报技巧^[2]。通常集合平均是所有集合成员的算术平均,每个成员的权重相等。如果集合成员中存在与大多数成员差别甚大的个别的成员,那么它(们)就会对集合平均结果有较大的影响。研究表明^[9],在一个可靠的EPS中,多数集合成员比较集中的范围往往是在实况值附近。基于这一考虑,本文提出一种新的集合平均方法(称为“变权集合平均”),通过对不同集合成员采用不同权重来求取集合平均,以期获得比普通集合平均(称为“等权集合平均”)预报更好的效果。

1 资 料

使用的资料包括 NCEP EPS 预报资料及 NCEP/NCAR 再分析资料。

① NCEP EPS 资料^[1-2]:12个预报成员500 hPa 高度场,其中包括高、低分辨率各1个单一预报成员和10个扰动预报成员;预报时刻为2000年3月1

日—2001年2月28日的00:00(世界时,下同),分为4个季节(3—5月,6—8月,9—11月和12月至次年2月);预报时效 τ 为0.5~16 d,间隔为0.5 d的全部预报;高分辨率预报在 $\tau < 7.5$ d时的模式分辨率为T170L42,之后至第16天调整为T126L28;低分辨率预报和扰动预报在 $\tau < 3.5$ d时为T126L28,之后直至第16天调整为T62L28;空间分辨率为矩形 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 格点。

② NCEP/NCAR 再分析资料^[10]:1983—2002年逐日00:00,12:00 500 hPa 高度场资料;格点分辨率与预报资料相同。其中1983—2002年高度场逐日资料用于确定预报效果检验中的气候背景及逐月气候等概率区间;2000—2001年资料还用于预报效果检验。

2 方 法

2.1 气候等概率区间的确定

确定每个格点上气候等概率区间的目的是为了对集合成员进行分组。具体方法如下:对某月、某格点上1983—2002年间的所有数据,共 $20 \times t$ 个(t 为月总日数),作非降序排列,然后再等频数地分为10段,那么可以认为高度值出现在每个区间内的概率均为0.1。对全球所有格点均进行这样的处理,就得到了该月逐点的10个气候等概率区间。为精

* “十五”国家技术攻关项目(2001BA607B)资助。
2005-09-05收到,2006-06-19收到再改稿。

细地考虑季节变化,还需要使用内插法,根据日期,考虑本月、上一个月和下一个月权重将其插值到研究时段的每个需要的时刻,就可以得到该时刻的气候等概率区间。

2.2 变权集合平均方法

对于某日、某预报时刻、某格点的集合预报,其成员预报值为 $F(m)$, $m=1, 2, \dots, 12$, 那么该点的等权集合平均结果为上述成员的算术平均值。

根据文献[9],集合预报的结果更倾向于多数集合预报成员的值,高预报成功率往往对应于较多成员比较一致的结果。变权集合平均方法的出发点就是通过对集合成员权重的调整,加大预报结果较为一致的集合成员的权重,强调这种一致性对预报结果的影响。

下面给出变权集合平均的计算过程。假定某点某预报时刻的气候等概率区间的分界值为 $B(n)$, $n=1, 2, \dots, 9$ 。根据这些分界值对集合成员进行分组(图1),记落入每个区间中的集合成员数为 $c(k)$, $k=1, 2, \dots, n+1$ 。

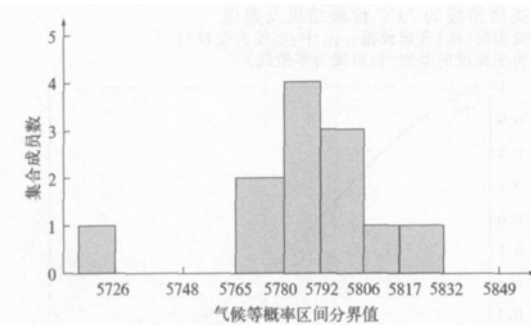


图1 变权集合平均示意图
(直方表示落入区间中的集合成员数)

那么,每个区间内的集合成员平均值为:

$$P(k) = \frac{1}{c(k)} \sum_{i=1}^{c(k)} F_{ik} \quad (1)$$

式(1)中, F_{ik} 为第 k 个区间内的第 i 个集合成员的值,且每个区间内的集合成员的权重为 $\alpha(k) = c(k)/m$ 。下面对这一权重值进行调整,第1和第10个区间是开区间,其权重保持不变。剩余8个区间的总权重为 $1 - \alpha(1) - \alpha(n+1)$ 。记这8个区间的总长度为 S ,每个闭区间的长度为 $L(k)$:

$$S = B(n) - B(1) \quad (2)$$

$$L(k) = B(k) - B(k-1), k = 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

那么每个区间的权重为 $\beta(k) = L(k)/S$ 。

对各区间的权重进行如下调整:

$$w(k) = [1 - \alpha(1) - \alpha(n+1)] \times [\alpha(k)/\beta(k)], k = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$$w(1) = \alpha(1),$$

$$w(n+1) = \alpha(n+1)$$

可以得到该点的变权集合平均值为

$$W = \sum_{k=1}^{n+1} w(k) P(k) \quad (5)$$

2.3 预报效果检验方法

对两种集合平均以及高、低分辨率单一预报的效果检验使用距平相关系数(ACC)和均方根误差(RMSE)方法,具体计算过程参照文献[11]。

3 结果分析

为了检验上述方法的效果,分别计算了全球、北半球热带外地区($20^\circ \sim 80^\circ \text{N}$)、南半球热带外地区($20^\circ \sim 80^\circ \text{S}$)、亚洲地区($10^\circ \sim 80^\circ \text{N}, 40^\circ \sim 140^\circ \text{E}$)、北美地区($10^\circ \sim 80^\circ \text{N}, 50^\circ \sim 150^\circ \text{W}$)在4个季节的高、低分辨率单一预报,变权和等权集合平均预报的ACC和RMSE检验值。

ACC检验结果(图2、图3为其中一部分)表明,变权集合平均的效果总体优于普通集合平均。随着 τ 的增加,两者的差别越来越大,且前者表现出稳定的优势。其中以春、夏季的南半球和北美地区预报效果提高最为明显。作为参照,图中还给出了不同分辨率单一预报的预报效果。它们的差异可以反映提高模式分辨率所产生的效果。可以看出,尽管高分辨率可以得到较好的预报结果,但并不稳定,常常会出现低分辨率预报效果优于高分辨率预报的情况。相对而言,变权集合平均即使在效果最差的情况下,也不会出现低于普通集合平均的情况。提高模式分辨率需要巨大的投入和更多的计算资源。变权集合平均仅通过简单地对集合成员权重进行调整就可达到提高预报效果的目的,因此其优势是极为明显的。

RMSE检验的结果(图4和图5)与ACC检验相似,也证明了变权集合平均的积极效果。不同类型预报之间的差别依然表现为变权集合平均对预报结果的稳定提高。

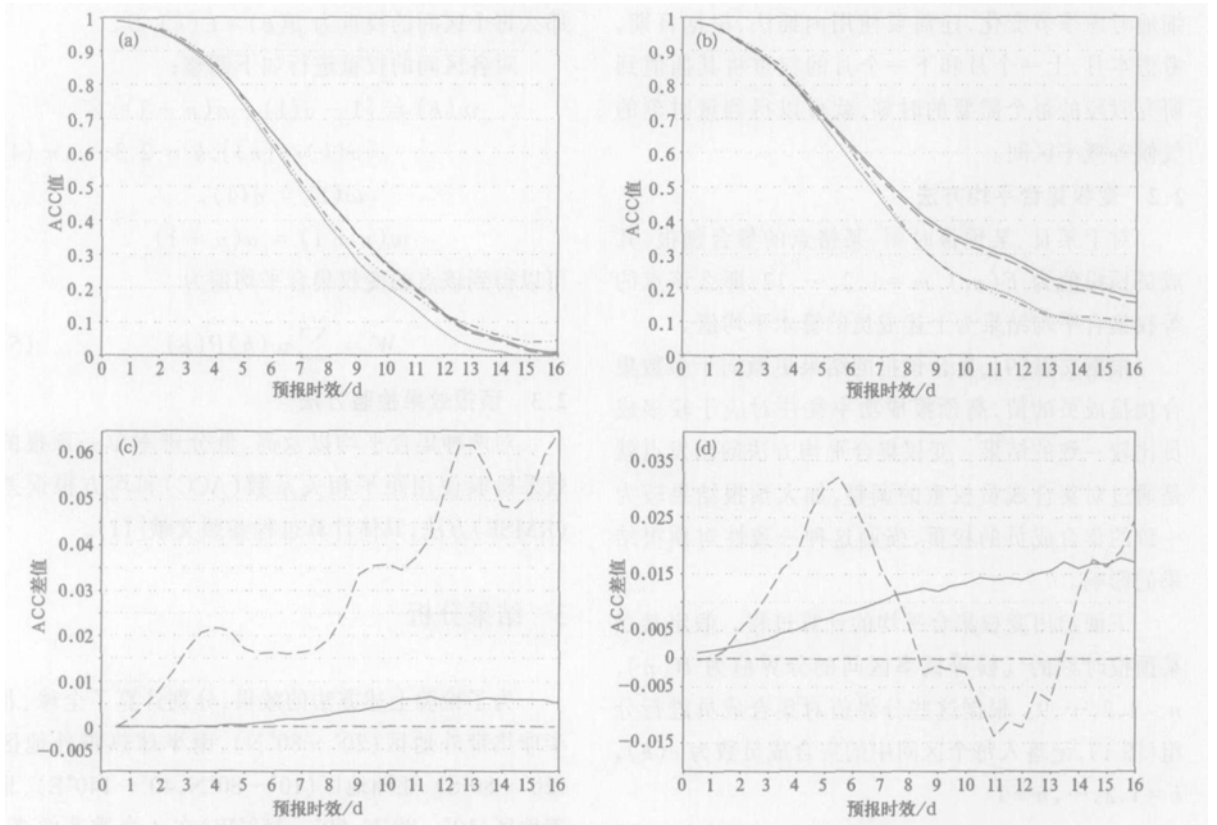


图2 3—5月北半球(a,c)、南半球(b,d)不同类型预报的ACC检验结果及差值
(a,b中,实(长虚)线为变权(等权)集合平均;点断(短虚)线为高(低)分辨率预报;c,d中:实线为变权与等权集合平均的差别,长虚线为高分辨率与低分辨率预报的差别,长短线为零值线)

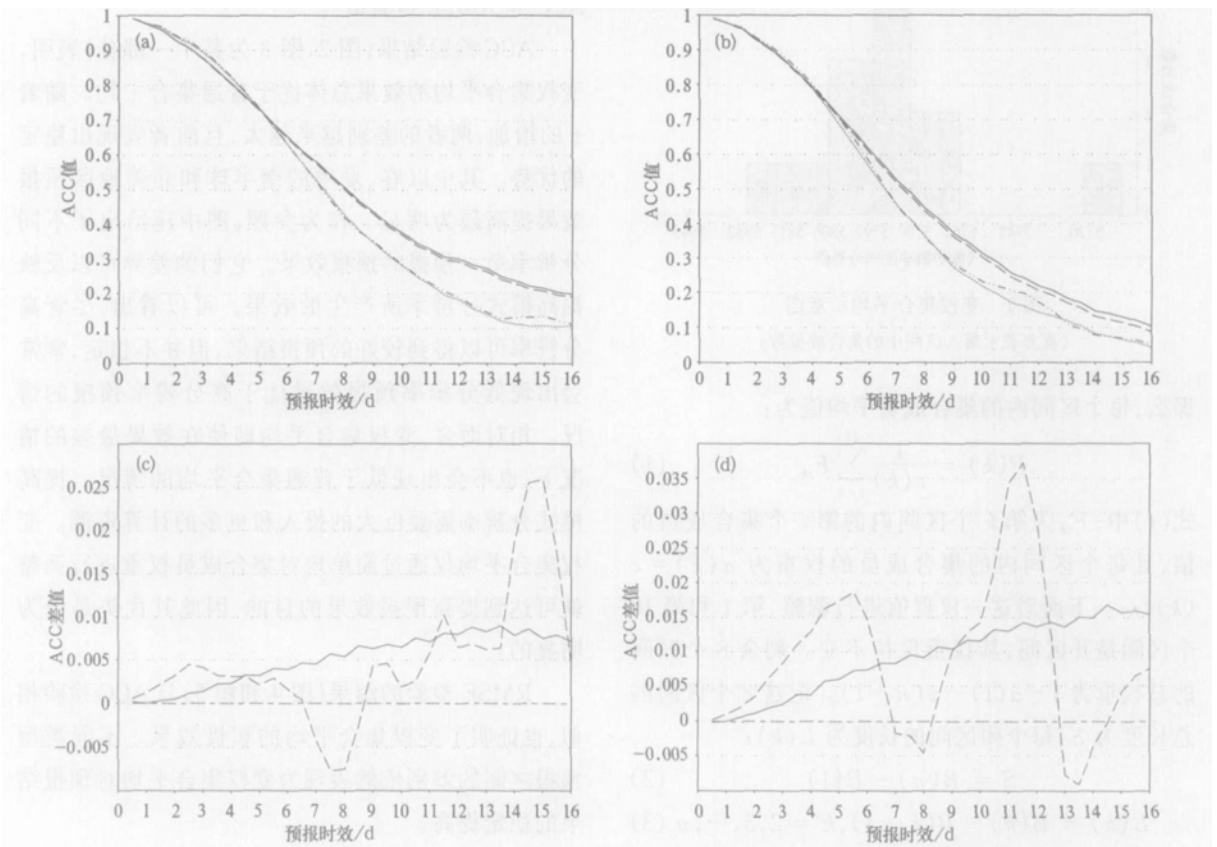


图3 9—11月(a,c)、12月至次年2月(b,d)南半球不同类型预报的ACC检验结果及差值(说明同图2)

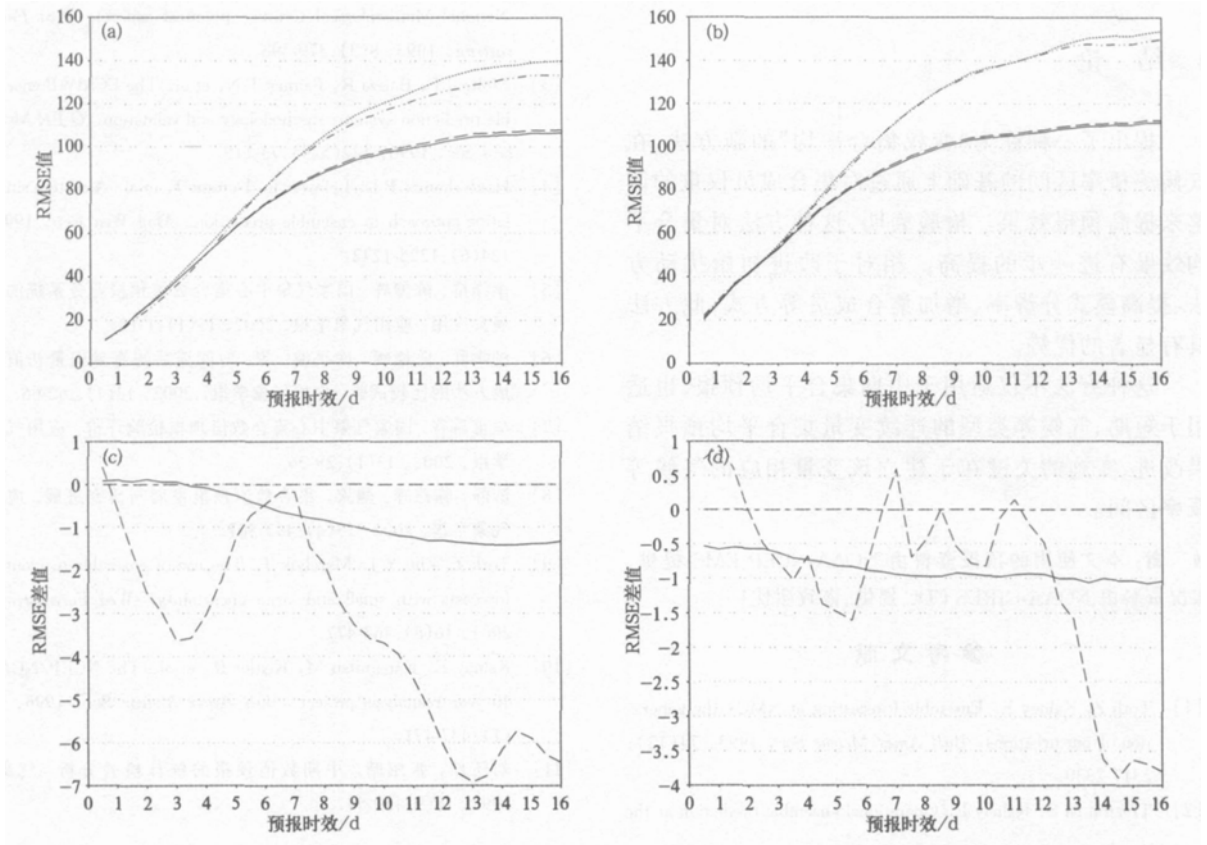


图 4 3—5 月北半球(a,c)、南半球(b,d)不同类型预报的 RMSE 检验结果及差值(说明同图 2)

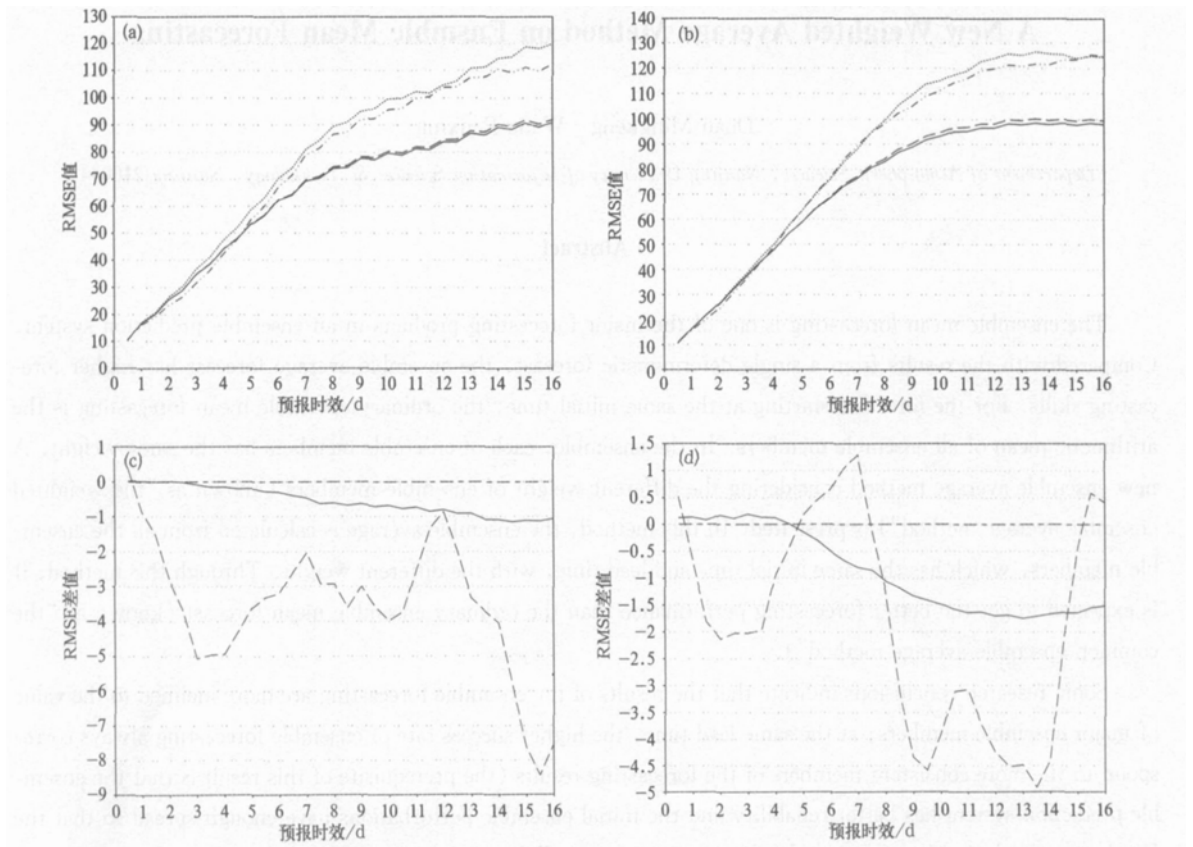


图 5 3—5 月亚洲地区(a,c)、北美地区(b,d)不同类型预报的 RMSE 检验结果及差值(说明同图 2)

4 结 论

提出了一种称为“变权集合平均”的新方法,在气候等概率区间的基础上通过对集合成员权重的调整来提高预报效果。检验表明,这种方法对集合平均效果有进一步的提高。相对于改进初始扰动方法,提高模式分辨率,增加集合成员等方式,此方法具有显著的优势。

这种方法不仅适用于中期集合平均预报,也适用于短期、气候等类型的连续变量集合平均预报结果改进,实施的关键在于建立该变量相应的气候等概率区间。

致 谢: 本文使用的预报资料由 NOAA-NCEP-EMC 提供, 实况资料由 NOAA-CIRES-CDC 提供, 谨致谢忱!

参 考 文 献

- [1] Toth Z, Kalney E. Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations. *Bull Amer Meteor Soc*, 1993, 74(12): 2317-2330.
- [2] Tracton M S, Kalnay E. Operational ensemble prediction at the

National Meteorological Center: practical aspects. *Wea Forecasting*, 1993, 8(3): 379-398.

- [3] Molteni F, Buizza R, Palmer T N, et al. The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. *Q J R Meteorol Soc*, 1996, 122(529): 73-119.
- [4] Houterkamer P L, Lefaiver L, Derome J, et al. A system simulation approach to ensemble prediction. *Mon Wea Rev*, 1996, 124(6): 1225-1242.
- [5] 李泽椿, 陈德辉. 国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 1-15.
- [6] 杨学胜, 陈德辉, 冷亭波, 等. 时间滞后与奇异向量初值生成方法的比较试验. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 62-66.
- [7] 皇甫雪官. 国家气象中心集合数值预报检验评价. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 29-36.
- [8] 陈静, 陈德辉, 颜宏. 集合数值预报发展与研究进展. *应用气象学报*, 2002, 13(4): 497-507.
- [9] Toth Z, Zhu Y J, Marchok T. The use of ensemble to identify forecasts with small and large uncertainty. *Wea Forecasting*, 2001, 16(8): 463-477.
- [10] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(1): 437-471.
- [11] 刘还珠, 张绍晴. 中期数值预报的统计检验分析. *气象*, 1992, 18(9): 50-54.

A New Weighted Average Method on Ensemble Mean Forecasting

Duan Mingkeng Wang Panxing

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Sciences & Technology, Nanjing 210044)

Abstract

The ensemble mean forecasting is one of the major forecasting products in an ensemble prediction system. Compared with the results from a single deterministic forecast, the ensemble average forecast has higher forecasting skills. For the forecasts starting at the same initial time, the ordinary ensemble mean forecasting is the arithmetic mean of all ensemble members. In the ensemble, each of ensemble members has the same weight. A new ensemble average method considering the different weight of ensemble members (known as "the weighted ensemble average method") is presented. In this method, the ensemble average is calculated from all the ensemble members, which has the same initial time and lead time, with the different weight. Through this method, it is expected to get the better forecasting performance than the ordinary ensemble mean forecast (known as "the common ensemble average method").

Some research conclusions indicate that the results of the ensemble forecasting are more inclined to the value of major ensemble members; at the same lead time, the higher success rate of ensemble forecasting always correspond to the more consistent members of the forecasting results (the prerequisite of this result is that the ensemble prediction system has better reliability and the initial ensemble perturbations have enough spread so that the forecasting results can more comprehensively cover the possibilities of forecasting errors).

The starting point of the weighted ensemble average method is to adjust the weight of ensemble members in order that the members with consistent forecast results have larger weights. By this process, the consistence among the ensemble members is emphasized. Here, the weighted ensemble average method uses the climatologically likely intervals to group the ensemble members according to the proximity extent each other; then according to the size of the climatologically likely interval and the ensemble members in it, the corresponding weight is adjusted; eventually, based on the adjusted weight, the calibrated ensemble mean forecasts are gotten.

Based on the NCEP EPS forecasting dataset, the verification methods of ACC and RMSE are used to prove the performance of the weighted ensemble average method. The test results at the various regions show that the method can upgrade the ensemble mean performance in a way. Even in the worst situation, the effects of the weighted ensemble average method do not appear below the ordinary ensemble average method. Compared to the resolution improvement of the numerical weather prediction or development of enormous ensemble prediction system further, the enhancement of the weighted ensemble average method is significant.

In addition to the medium-range ensemble average forecasting, this method can also be used in the ensemble mean of the continuous variables during the other types of forecasts, predictions to improve the forecast performance.

Key words: ensemble forecasting; ensemble mean forecasts; weight; climatologically equally likely intervals