

基于神威中期集合数值预报系统的产品开发*

毛恒青 陈 谊 陈德辉

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

利用我国神威中期集合数值预报系统 32 个成员的输出资料,根据预报业务的需要,开发出新的集合预报产品。其产品有 500 hPa 高度场分簇和特征等高线面条图、关键点 850 hPa 温度的概率烟羽图和温度变化趋势图、全国省会城市的要素预报分布图。

关键词: 500 hPa 高度场分簇 面条图 500 hPa 特征等高线 概率烟羽

引 言

由于观测的误差和资料分析、同化处理中引入的误差,作为数值模式初值的初始场总是包含有不确定性^[1],气象分析资料只是实际大气的一个近似值而已。因此,以此作为初值输入的数值模式的解也仅是实际大气变化可能出现的一个解。集合数值预报就是在估算出初值误差分布的可能范围后,给定初值的一个集合,从这一集合出发,就可以相应的得到一个预报场的集合。集合数值预报输出大量的预报场资料,为了使预报员有效的利用这些资料,就必须解决如何从众多的预报场中最大限度地提取有用信息,这是一个完整的集合数值预报系统中最重要的部分之一。

从 1992 年起,美国国家环境预报中心^[2](NCEP)和欧洲中期天气预报中心^[3](ECMWF)的集合预报系统先后投入业务运行,提供预报员使用的数值预报产品^[4]包括邮票图、集合平均图、分簇(类)图、特征等高线面条图、天气系统路径图、概率烟羽图、各种天气要素概率预报图等,目前集合数值预报产品在美国和欧洲各国已成为预报业务上应用广泛的产品之一。

国家气象中心从 1996 年开始进行集合数值预报的研究工作,国家气象中心的集合数值预报系统采用 T106 全球模式,初值扰动方法为奇异向量法,集合预报成员数为 32 个,最长预报时效为 240 h,每天利用 20:00(北京时)的资料作为初始场。神威中期集合数值天气预报系统于 1999 年底投入业务试运行。目前提供的产品包括 3 个方面:500 hPa 高度场未来 10 d 逐日的集合平均预报场;850 hPa 温度距平(与常年平均值之差)大于等于 8 K、大于等于 4 K、小于等于 -8 K、小于等于 -4 K 的概率分布;大于等于 1 mm、大于等于 10 mm、大于等于 25 mm、大于等于 50 mm、大于等于 100 mm 的降水概率预报。可见与成熟的集合数值预报系统相比产品过于单调,还有丰富的信息没有很好的提取和利用。

* 本文由“863-306-ZD-11-03-02”项目资助。
2001-04-18 收到,2001-06-13 收到修改稿。

为此紧密结合预报业务的实际需要,利用神威中期集合数值预报系统的 32 个成员输出资料,开发出新的集合数值预报产品,以更充分的提取集合数值预报产品中的有用信息,供预报员参考使用。

1 500 hPa 高度场产品

1.1 500 hPa 高度场分簇(类:Cluster)

国家气象中心的中期集合数值预报有 32 个预报成员,对形势场的演变而言就是 32 种可能的趋势,根据各预报成员的演变趋势,可以把所有预报成员的 500 hPa 高度预报场分成几簇(类),每一簇的变化趋势十分相似,然后给出每一簇的平均场,这是有效提取集合数值预报产品有用信息的方法之一。该产品可以为预报员提供几种不同类型的形势场演变趋势,并给出每种类型可能出现的概率大小。

NCEP^[2]采用距平相关系数分簇法对 500 hPa 高度场进行分簇。将所有预报成员与历史平均值相减求出距平值,用距平值计算各成员之间的距平相关系数,找出所有成员中相似性最差(相关系数最小)的 2 个成员,这 2 个成员就给出了可能的预报范围,然后找出所有与这 2 个极端成员最相似(距平相关系数大于 0.6)的预报成员,确定为 2 个簇(类)。对余下的预报成员,再找出最相似的 2 个成员以及它们相似性较好的定义为另一类。这一过程循环下去,直到将所有成员划分完毕。

欧洲中期天气预报中心(ECMWF)曾经采用差值均方根分簇法^[3]进行分簇,该方法将各成员之间的 500 hPa 高度场的差值均方根作为衡量它们之间距离大小的标准,分类时选定欧洲区域,以 5 到 7 d 的预报场作为分类的基础。目前 ECMWF 采用一种称之为管子分簇法^[5,6](Tubing)进行分簇,该方法是首先对选定的区域内计算集合平均值,以集合平均为中心在给定的半径范围内所有成员为最基本的一簇;然后以离集合平均最远的一个成员为准在相同大小半径的范围内的成员为另外一簇;这一过程一直循环下去。半径的大小是事先给定的,随季节不同而变化,每次分簇数一般为 3~4 簇,不能多于 5 簇。分簇方法都是对于特定的区域,根据各个成员之间的相似(差别)程度大小进行分簇,所不同的是确定相似性判据的参数不同而已。

为开发我国的集合数值预报分簇产品,借鉴管子分簇法的基本原理,结合我国集合数值预报产品各成员的特点,确定以各预报成员对集合平均的离散程度大小进行分簇,称之为离散距离分簇法。基本思路可以由图 1 说明:假设图中为所有成员对某一条等高线预

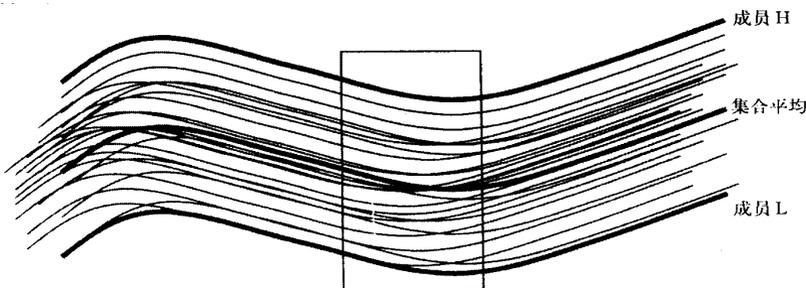


图 1 离散距离分簇法原理示意图

报图,粗线分别为预报成员的集合平均、该等高线预报最偏北的成员 H 和最偏南的成员 L,根据这三者就可以求得每一个成员相对于集合平均的偏差值,最大正偏差、最大负偏差,成员 H 和成员 L 之间的距离即为预报成员的散布范围称其为离散距离,然后根据集合平均和离散距离将所有预报成员进行分簇。

该方法与管子分簇法的原理基本相同,都是在集合平均的基础上根据距离集合平均的远近来分簇。不同之处在于:管子分簇法的半径是根据季节不同而事先给定的,每个季节相同,但逐日分得的簇数和每簇的成员数不一定相同;而离散距离分簇法的离散距离和每簇中的成员数每天是可变的,但由于人为的将其分成 3 簇,分得的簇的数量似乎是不变的。

具体做法是:

选定区域 $110 \sim 130^{\circ} \text{ E } 30 \sim 50^{\circ} \text{ N}$ 内 500 hPa 场的格点为基础,取预报时效为 96 h(4 d) 的格点高度资料,设每个预报成员在选定区域内的格点高度值分别为:

$$H_{ij} (i=1, 2, \dots, 32, j=1, 2, \dots, M)$$

其中 i 为预报成员序号, j 为选定区域格点的序号。则区域内各点上高度的平均值为:

$$\overline{H}_j = \sum_{i=1}^{32} H_{ij} / 32,$$

该区域所有格点高度的总平均为: $\overline{H} = \sum_{j=1}^M \overline{H}_j / M,$

则各成员在各点上的距平值为: $\Delta H_{ij} = H_{ij} - \overline{H}_j,$

区域内各成员的平均距平值为: $\Delta \overline{H}_i = \sum_{j=1}^M \Delta H_{ij} / M.$

因此,在该区域内所有成员的离散距离定义为: $L = \max(\Delta \overline{H}_i) - \min(\Delta \overline{H}_i).$

考虑到分簇不宜过细,否则预报图太多不利于预报员的使用和把握,分簇数以 3 簇为最好。根据离散距离大小,将预报成员分为如下 3 簇:

第一簇(Cluster 1): $\Delta \overline{H} \leq -L/4$

第二簇(Cluster 2): $-L/4 < \Delta \overline{H}_i \leq +L/4$

第三簇(Cluster 3): $+L/4 < \Delta \overline{H}_i$

其中第二簇为中心簇(central cluster),它给出环流形势基本的变化趋势,因此在分簇时给定第二簇的范围最大,是其它两簇的 2 倍。第一簇、第三簇给出了相对于中心簇向两个相反方向偏离的演变趋势,其中最大偏离距离和簇的范围(都是 $L/4$)是相同的,只是偏离方向相反。

图 2 是 2001 年 3 月 5 日 500 hPa 高度场预报分簇结果。考虑图面的原因,仅给出预报时效为 7 d、8 d、9 d 的分簇图,其中第一簇有 2 个成员,第二簇有 28 个成员,第三簇也是 2 个成员。图中 3 簇虽然没有明显不同,但仍然能够看出西风槽的位置和强度有一定差别。另外,这次的预报绝大多数成员都集中在平均值附近,也说明预报的可信度较高。

1.2 500 hPa 高度场特征等高线面条图

对于集合预报的可信度可以用预报场的发散情况来表示。因此,选取所有 32 个预报成员对 500 hPa 高度场某特征等高线的预报结果,将其显示或输出在同一张图上。如果特征等高线的发散度较小,说明预报的可信度较高;如果特征等高线不集中,说明预报可信度较低。

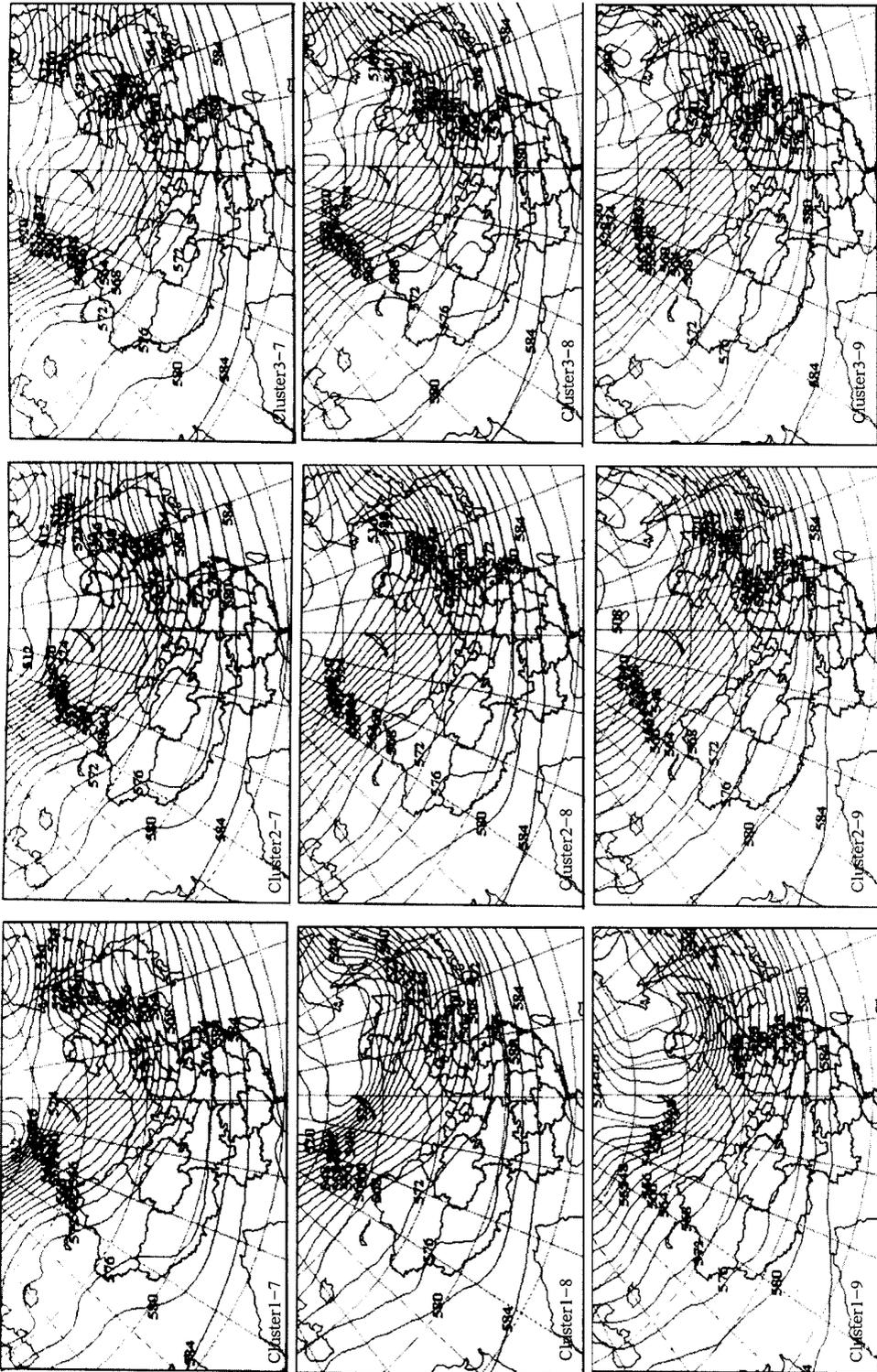


图2 2001年3月5日预报时效7 d(上)、8 d(中)、9 d(下)500 hPa高度预报分簇

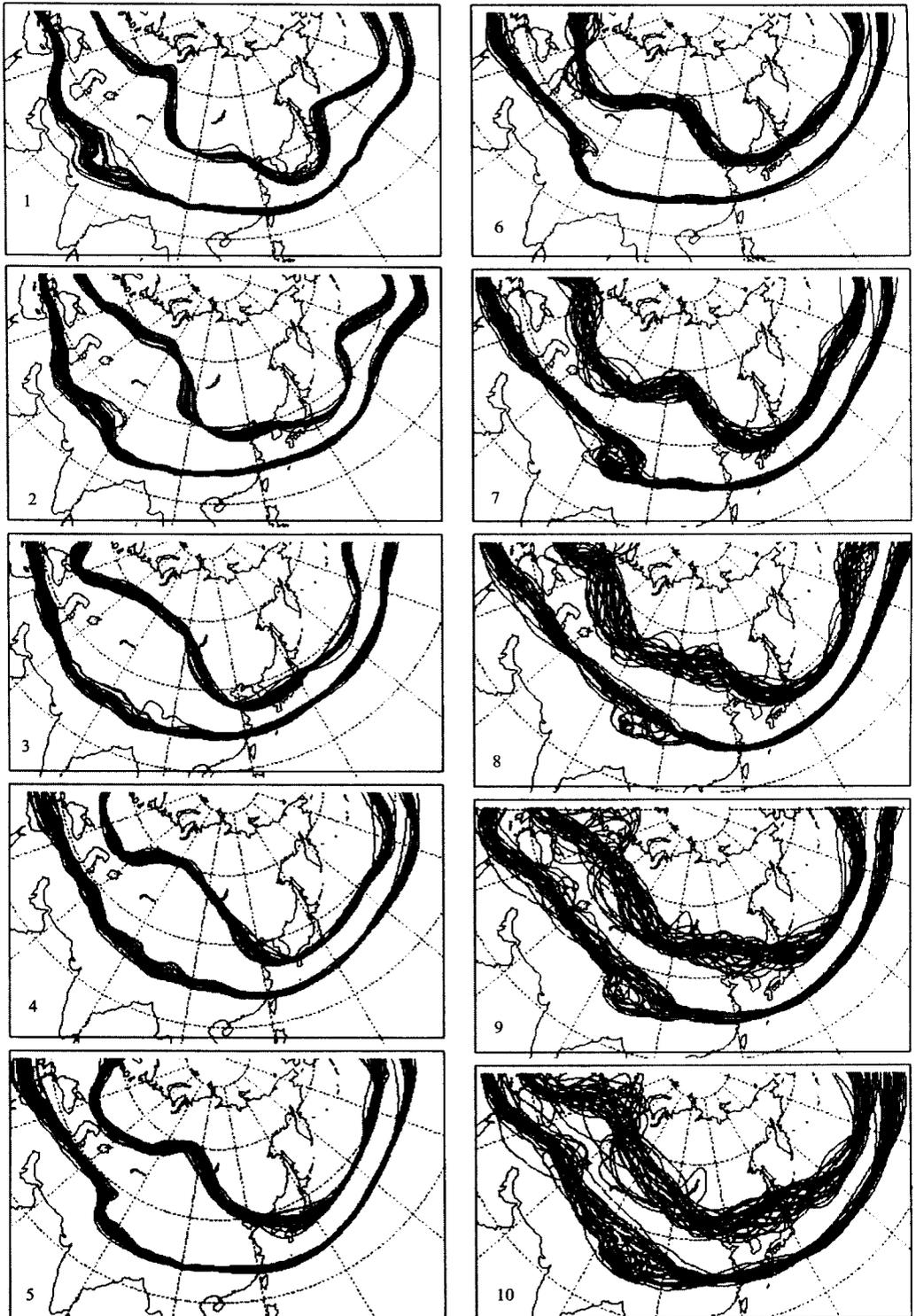


图3 2001年3月3日544(左)576 dagpm(右)特征等高线条图
(1~10分别为预报时效1~10 d)

根据影响我国的天气系统和环流特点,夏半年 5~10 月,要同时考虑冷空气和副热带高压的影响,因此选取 568 588 dagpm 等值线作为特征等高线,分别代表对冷空气活动和副热带高压的预报情况。冬半年 11 月至翌年 4 月主要关心冷空气和南支槽的活动,并且考虑到大气环流的年变化,选取 544 576 dagpm 等值线作为特征等高线,分别反映冷空气和南支槽的情况。

图 3 是 2001 年 3 月 3 日 544 576 dagpm 特征等高线面条图。图中反映出在预报时效 6 d 以内时,特征等高线十分集中,预报可信度较高;之后随预报时效的延长而发散。图中还清楚的给出未来 10 d 内系统的移动过程。

2 850 hPa 温度场产品

2.1 定点 850 hPa 温度预报概率烟羽图

为了了解对关心点上温度预报的可信度,可以分析各成员对选定温度预报的概率分布。在 115°E 经线上选取 40°N(第 1 点) 35°N(第 2 点) 30°N(第 3 点) 25°N(第 4 点)等 4 个点,统计计算集合预报各成员对这些点上 850 hPa 温度预报的概率分布,以给出自北向南对 850 hPa 温度预报的可信度,然后将所有预报时效的温度概率绘制成等值线图,称为温度概率分布烟羽图,温度间隔取 1℃。从该图可以形象地看出各预报时效内对 850 hPa 温度预报值的概率分布情况,一般而言概率烟羽分布范围较大时,可信度较差;而实际温度值落在预报概率大的区间内的可能性较大。

图 4 是 2001 年 2 月 26 日 4 个格点的 850 hPa 温度预报概率烟羽图。图中给出了 4 个格点上在不同预报时效的温度分布范围及其概率值。第 1 点的温度在未来 10 d 里起伏变化较大,并且在第 6 天 8~10 天对温度的预报出现了明显的分权(或发散)现象,温度值分布范围广,概率值小。第 2 点在第 6 天也出现了分权现象,温度值分别分布在 3~6℃和 7~11℃的 2 个范围内,并且在 7~11℃之间也出现了 2 个相对较大的概率中心。第 3、4 个点的温度预报变化较平稳,并且没有明显的分权现象出现,预报的可信度相对较高。

2.2 定点 850 hPa 温度演变趋势图

在中期天气预报业务中,除了预报未来温度趋势平均偏低或偏高外,冬季还要预报未来可能出现冷空气的过程起止时间、温度升降幅度和变化速度,夏季要预报可能出现的高温时段、强度等。因此,结合中期天气预报业务,仍然取 115°E 经线上自北向南的 40°N、35°N、30°N、25°N 等 4 个点代表相应的地区,给出各个点上 850 hPa 温度集合平均预报演变趋势,根据这 4 个点 850 hPa 温度的变化趋势,预报员就可以大体上判断未来 10 d 内各地区温度的升降趋势、起止时间、升降幅度等,对冬季冷空气活动和夏季高温天气的预报具有直接的指导作用。

图 5 分别是 2001 年 2 月 18 日(左) 3 月 4 日(右)第 1(上) 2(下)点 850 hPa 温度集合平均预报。2 月 18 日的预报表明,在未来 10 d 里有 2 次冷空气降温过程,第 1 次过程从第 3 天开始降温,分别在第 4、5 天时温度达到最低;第 2 次过程则分别从第 7、8 天开始降温,在第 10 天时仍在继续下降。而 3 月 4 日的预报显示,在未来的 2、3 d 内温度下降;从第 3、4 天起,两个格点的温度一直维持着上升的趋势,其温度上升幅度分别达 18℃和 16℃。

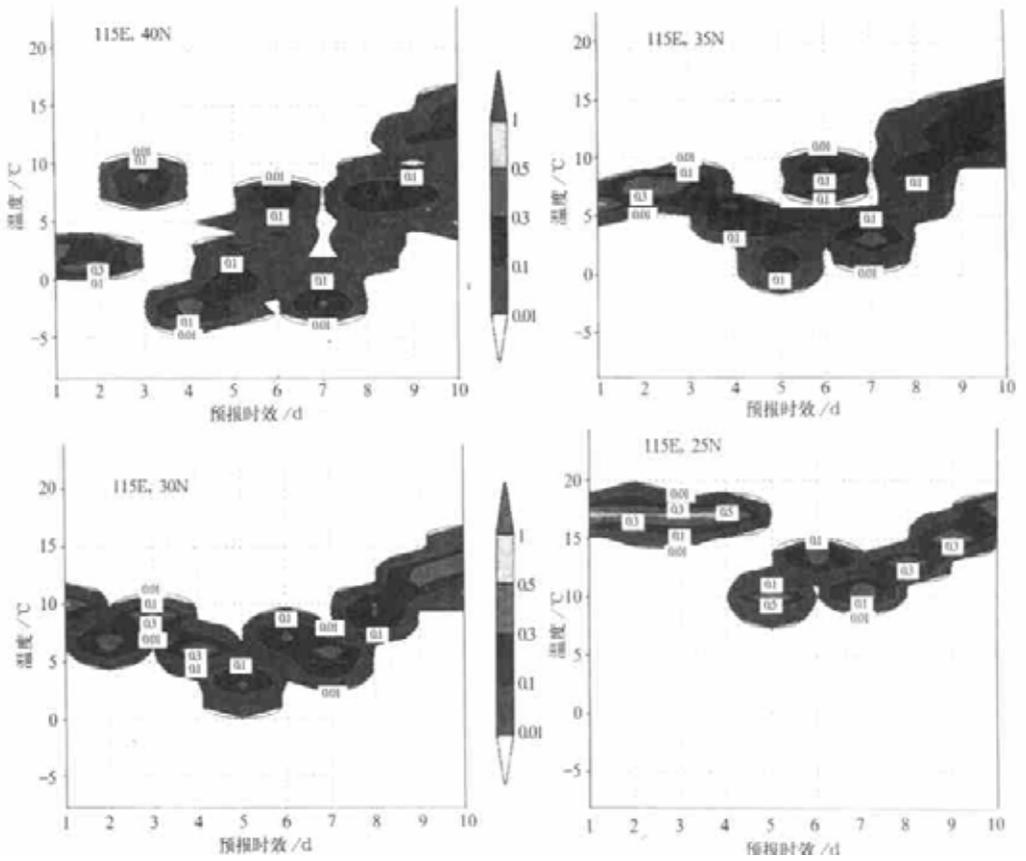


图 4 2001 年 2 月 26 日 4 个格点的 850 hPa 温度预报概率烟羽图

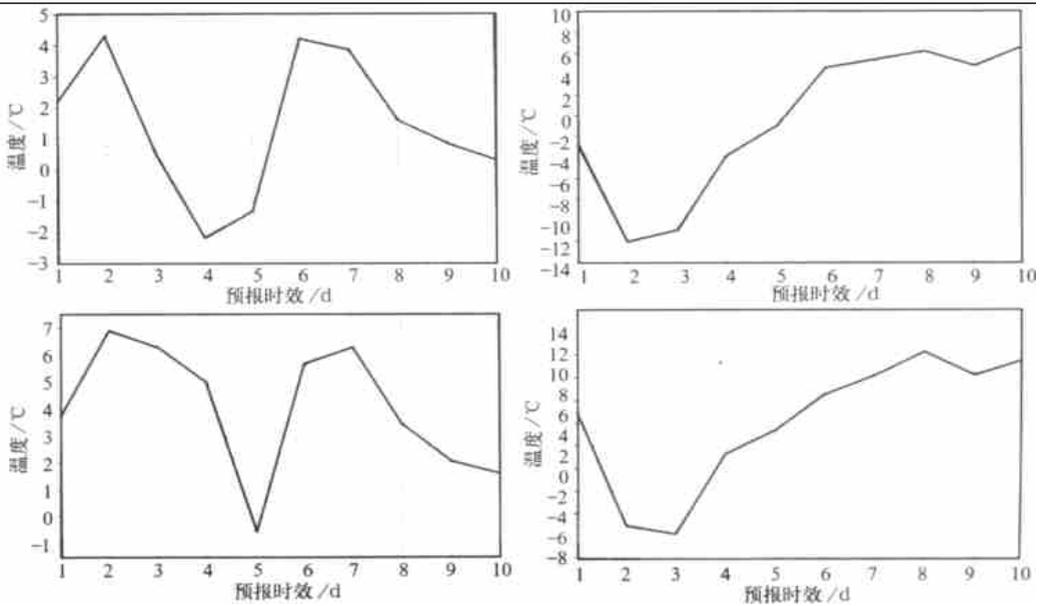


图 5 2001 年 2 月 18 日(左) 3 月 4 日(右)第 1(上) 2(下)点 850 hPa 温度预报集合平均

3 省会城市气象要素预报

在预报业务中,预报员每天都要发布城市气象要素的预报,因此,为了能使预报员更直接的利用集合数值预报产品的信息,开发了全国省会城市逐日温度集合平均、逐日的降水概率、风速大于 10 m/s 和 15 m/s 概率等,输出是采用 MICAPS 格式,预报员在作城市预报时可以直接参考。图 6 给出 2001 年 3 月 4 日全国主要城市温度集合平均和降水概率的 5 d 预报。

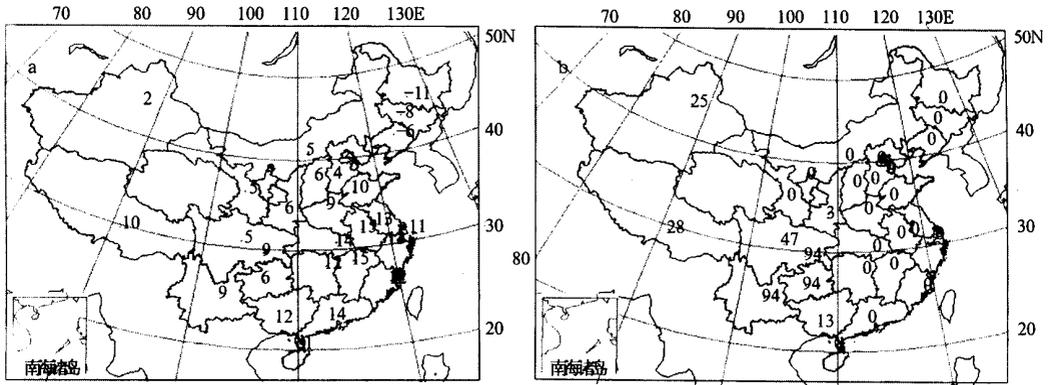


图 6 2001 年 3 月 4 日主要城市温度集合平均(a)、降水概率(b)的 5 d 平均预报

4 结 语

本文简要的介绍了国家气象中心中期集合数值预报产品的开发情况。这些产品是在神威中期集合数值预报系统的基础上,根据我国数值预报产品的特点,借鉴发达国家集合数值预报产品种类和应用情况,紧密结合我国中期天气预报业务的实际需要而开发出来的。填补了我国中期集合数值预报产品的一些空白,必然为我国中期天气预报业务提供重要参考。

参 考 文 献

- 1 杜钧.集合预报概论.东亚季风与中国暴雨.北京:气象出版社,1998.457~462.
- 2 Traction M S, Kalnay E. Operational ensemble prediction at the National Meteorological Center: Practical aspects. *Weather Forecasting*, 1993, 8:379~398.
- 3 Molteni F, Buizza R, Palmer T N, et al. The ECMWF Ensemble Prediction System: methodology and validation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1996, 122:73~119.
- 4 毛恒青,王建捷.集合预报业务使用现状和趋势.气象,2000,26(6):26~29.
- 5 Atger F. Tubing: An alternative to clustering for the classification of ensemble forecasts. *Weather Forecasting*, 1999, 14(5):741~757.
- 6 Jacquin J M. Medium range forecast at METEO-FRANCE with the Ensemble Prediction System (EPS). Seventh Workshop on Meteorological Operational Systems. 1999. 57~68.

THE DEVELOPMENT OF ENSEMBLE PRODUCTS BASED ON THE SHENWEI MEDIUM RANGE ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM

Mao Hengqing Chen Yi Chen Dehui

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

Based on 32 forecast members of the Shenwei Medium-Range Ensemble Prediction System and the need of operational forecast, some new ensemble products are developed. These products include the clusters of 500 hPa height trajectories, “spaghetti” charts of special 500 hPa height contours, probability “plumes” and ensemble mean charts of 850 hPa temperature, and weather element forecasts from provincial capitals of China.

Key words: Clusters of 500 hPa height trajectories “Spaghetti” chart Special 500 hPa height contour Probability “plumes”