

# 时间滞后与奇异向量初值生成方法的比较试验\*

杨学胜<sup>1)</sup> 陈德辉<sup>1)</sup> 冷亭波<sup>2)</sup> 黄卓<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(国家气象中心,北京 100081) <sup>2)</sup>(北方计算中心,北京 100091)

## 提 要

简单介绍了国家气象中心基于奇异向量初值生成方法的神威集合预报准业务系统,它主要包括资料的前处理、客观分析、预报模式、初值扰动的生成、后处理、产品制作和系统监控七个部分,共有 32 个成员。提出了 12 个成员的时间滞后法集合预报系统的实施方案,并与奇异向量法进行了对比试验。结果表明,不论是距平相关系数还是均方根误差,奇异向量法在绝大多数区域和预报时效都比时间滞后法好。

关键词: 奇异向量 时间滞后 集合预报 初值扰动

## 引 言

集合预报系统的一个难点是初值扰动的生成方法,扰动初值的质量好坏直接影响模式的预报质量。早期集合预报系统的初值扰动大都采用随机扰动法,即经典的蒙特卡罗法(Monte Carlo)<sup>[1]</sup>,它对原始的初始场进行一系列的扰动,此法考虑了实际大气中可能存在的误差分布情况,但预报集合中成员之间的离散度较小。由于受到计算机资源的限制,集合预报中的成员数目不能无限地增多,目前在业务上用得比较少。另一种方法是时间滞后法(Lagged Average Forecasting,简称 LAF 方法)<sup>[2]</sup>,一般用连续几天(如 3 天)的四维资料同化循环的分析场作为集合预报的系列初始场,但样本数受到取样时间长度的限制。

目前国际上用到的初值扰动生成方法主要有 3 种,即欧洲中期天气预报中心(ECMWF)使用的奇异向量法(Singular Vectors,简称 SV 方法)<sup>[3]</sup>;美国国家环境预报中心(NCEP)使用的增长模繁殖法(Breeding of Growing Modes,简称 BGM)<sup>[4]</sup>,加拿大气象局用的扰动观测技术。这 3 种方法各有其优点,但增长模繁殖法是这 3 种方法中最简单和计算最经济的方法。

本文的主要目的在于对国家气象中心集合预报系统用到的初值扰动方法,即 LAF 方法和 SV 方法进行对比试验,以便为该系统的业务化提供决策依据。

## 1 LAF 和 SV 集合预报系统简介

神威集合预报系统于 1999 年底在国家气象中心投入准业务运行,并在国庆五十周年

\* 本文得到“863”项目“扰动初值形成方案的优化改进”ZD-11-03-02-02 专题的资助。

2001-04-28 收到,2001-06-28 收到修改稿。

庆典和澳门回归等重大的气象保障中发挥了重要作用。

神威集合预报准业务系统由 1 个控制预报和 31 个扰动预报集合而成,包括资料的前处理、客观分析、预报模式、初值扰动生成模式、后处理、产品制作和系统监控七个部分。前处理将接收到的全球观测资料进行处理,生成同化所需的格式;每天在 00:00、06:00、12:00、18:00 UTC 用最优插值分析方案<sup>[5]</sup>进行 4 次资料同化,产生质量场和风场较为平衡的初始场。采用的预报模式为 T106L19<sup>[6]</sup>,预报时效为 10 天;初值扰动的生成采用奇异向量法,用 T21L19 模式产生奇异向量,伴随模式和正切模式是绝热的;后处理将模式的预报结果进行水平和垂直插值,为用户提供标准等压面上、均匀格点上的资料;在运行中为了发挥神威机的多节点优势,将 32 个样本的 20 个时刻的后处理分成 3 部分计算,即 32 个样本的前 8 个时刻、32 个样本的中 8 个时刻、32 个样本的后 4 个时刻。生成的产品包括不同降水级别(1 mm, 10 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm)的 24 h 降水概率预报图、850 hPa 温度距平( $> 4\text{K}$ ,  $8\text{K}$ ;  $< -4\text{K}$ ,  $-8\text{K}$ )概率预报图、下一旬逐日 500 hPa 高度等。可视化监控系统包括分区的申请与释放、作业的提交、运行时间的查询、机器资源的查询、运行流程的监测与控制、输入输出文件路径的自动生成、容错处理包括外存储器系统出错处理、分区出错报警、资料出错报警,以及定时自动启动作业等。

在 SV 准业务化之前,国家气象中心集合预报系统的扰动初值方法一直采用的是时间滞后法,采用连续 3 天的分析场作为初始条件,共有 12 个成员,每逢气象台中期会商在 IBM SP2 机上运行,预报模式的分辨率为 T63L16。由于受到人力和计算机资源的限制,一直没有对奇异向量法和时间滞后法的集合预报系统进行客观检验,而这是系统业务化所必须的。

为此我们提出了在神威机上建立时间滞后法集合预报系统的方案。具体方案为用连续 3 天( $t-2$ 、 $t-1$  和  $t$  表示)的资料同化的分析场,每天有 00:00、06:00、12:00、18:00 UTC 4 个分析场,3 天则有 12 个样本。为了节约计算机系统资源,对 3 天的 12 个样本的预报流程进行了设计。以 12:00 UTC 为例,模式积分 12 天即  $12 \times 24 \times 4 = 1152$  步(每小时 4 步),对当天  $t$  的预报,产品后处理时取第 1 天至第 10 天的预报;对  $t-1$  时刻取第 2 天至第 11 天的预报;对  $t-2$  时刻取第 3 天至第 12 天的预报。06:00 UTC 模式需积分 1176 步;00:00 UTC 模式需积分 1200 步;18:00 UTC 模式需积分 1128 步。这样,LAF 集合预报系统每天只需要做当日的 00:00、06:00、12:00、18:00 UTC 4 个预报,不需每天做 12 个预报,从而大大节约了计算机资源。但在产品后处理时需每天对 12 个样本进行处理,并要保证所处理的各个样本的预报时刻是相同的。

在此基础上,于 2000 年 9 月 15 日至 2000 年 10 月 11 日进行了 27 天的平行试验,对 LAF 集合预报系统的结果与 SV 集合预报系统的结果从统计检验方面进行了对比。

## 2 对比试验结果

为了检查两种方案相对于控制预报的水平,进行了 WMO 规定的统计检验。检验时段为 2000 年 9 月 21 日~10 月 11 日,检验的变量为 500 hPa 高度场。所选区域为亚洲、北半球、欧洲、北美、高纬和低纬。图 1~3 分别为两个方案的集合预报平均和控制预报相

对于分析的距平相关系数和均方根误差。

对距平相关系数来讲,所有时次的高纬和北半球,亚洲除 96~132 h,欧洲北美除 228~240 h,低纬除 180~216 h,SV 的效果都比 LAF 好。

对 RMSE 来讲,高纬除 168~240 h,北半球除 192~240 h,亚洲除 96~132 h,欧洲除 210~240 h,北美除 156~240 h,低纬除 156~216 h,SV 集合预报的均方根误差都比 LAF 小。

由此看来,对绝大多数区域和预报时效,SV 的总体效果要比 LAF 好。

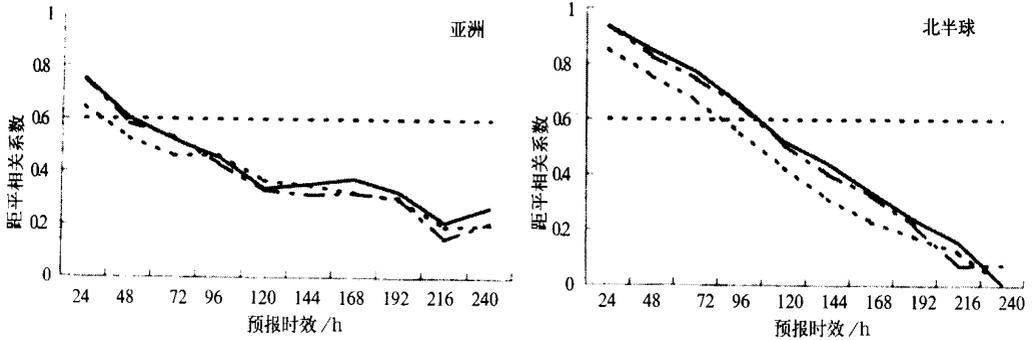


图 1(a) 亚洲和北半球集合预报(平均)与控制预报(CRL)500 hPa 高度场检验距平相关系数对比图(—SV ... LAF - - CRL,下同)

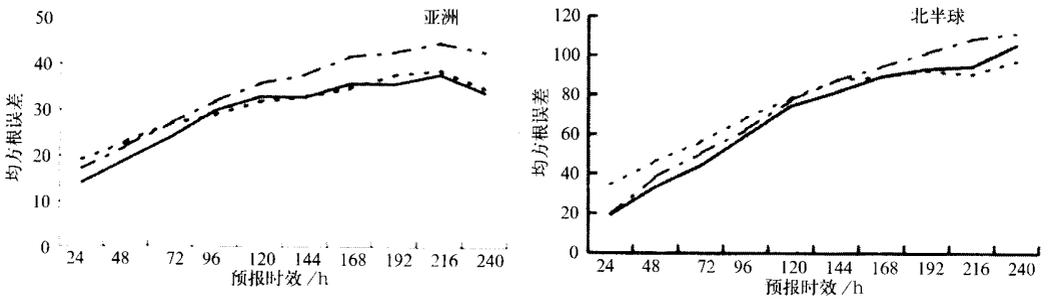


图 1(b) 亚洲和北半球集合预报(平均)与控制预报 500 hPa 高度场检验均方根误差对比图

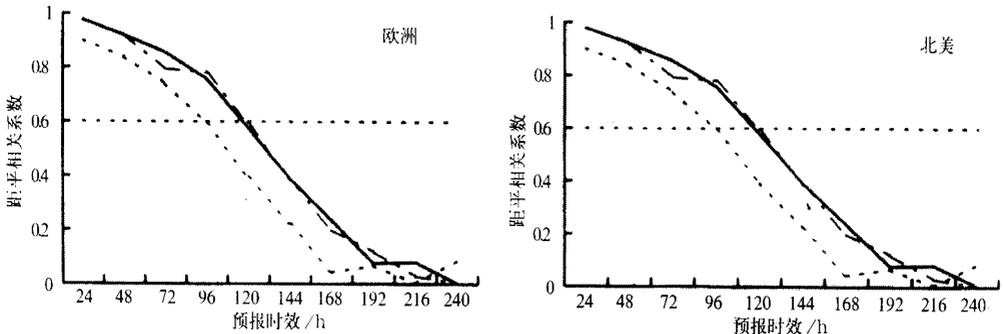


图 2(a) 欧洲和北美集合预报(平均)与控制预报 500 hPa 高度场检验距平相关系数对比图

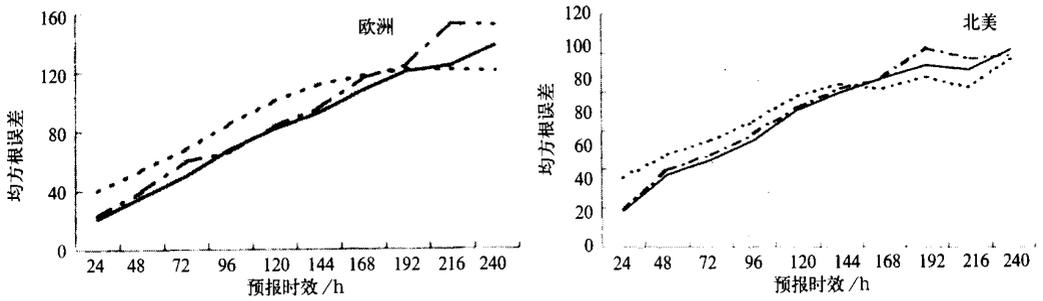


图 2(b) 欧洲和北美集合预报(平均)与控制预报 500 hPa 高度场检验均方根误差对比图

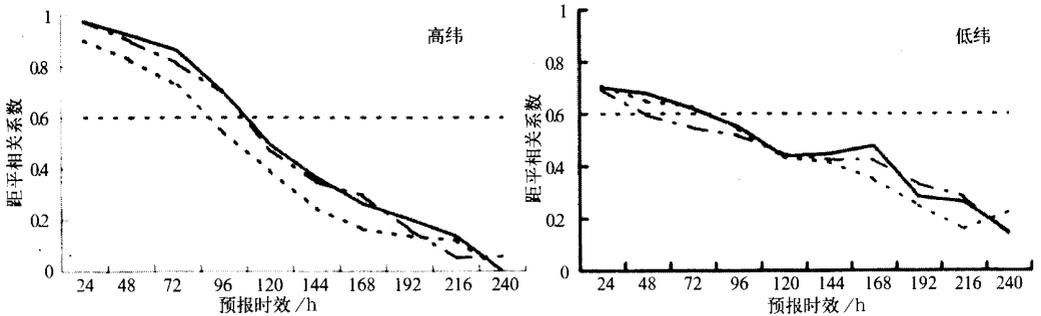


图 3(a) 高纬和低纬集合预报(平均)与控制预报 500 hPa 高度场检验距平相关系数对比图

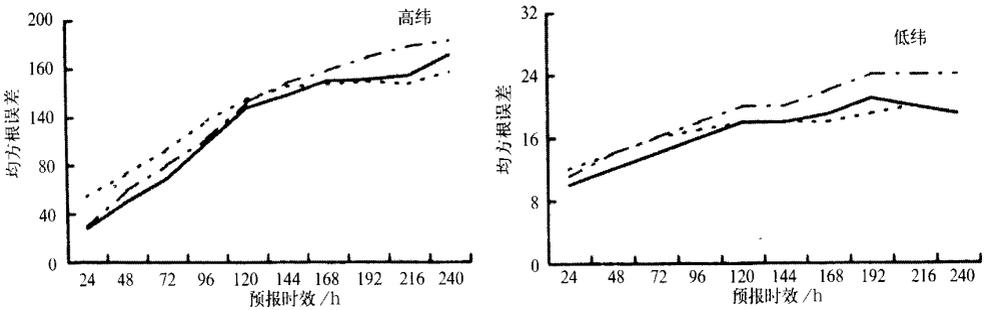


图 3(b) 高纬和低纬集合预报(平均)与控制预报(CRL)500 hPa 高度场检验均方根误差对比图

### 3 结 论

神威集合预报系统自 1999 年底在国家气象中心准业务运行以来,在日常的中期天气预报服务中发挥了一定的作用。本文以国家气象中心的神威集合预报准业务系统为基础,进行了时间滞后和奇异向量初值生成方法的对比试验。

试验结果表明,奇异向量法不论是距平相关系数,还是均方根误差,总体上都较时间滞后方法有改进,因此其业务化应用对提高中期天气预报的准确率,延长预报时效,为天

气预报向定点、定时、定量预报的发展提供了有利条件。同时,为了解决目前该方案离散度不够的问题,将伴随模式的分辨率提高到 T42L19 的试验也在进行之中。另外,该初值生成方案也具有广泛的用途,可应用于短期集合预报系统、短期气候集合预报系统中初值的生成。

### 参考文献

- 1 Hollingsworth A. An experiment in Monte Carlo forecasting procedure. Proc. Workshop on Stochastic Dynamic Prediction. Reading, UK. ECMWF, 65 ~ 86, 1980.
- 2 Hoffman R N, Kalnay E. Lagged average forecasting, an alternative to Monte-Carlos forecasting. *Tellus*, 1983, **35A**: 100 ~ 118.
- 3 Molteni F, Buizza R, et al. The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1996, **122**: 73 ~ 119.
- 4 Toth Z, Kalnay E. Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 3297 ~ 3319.
- 5 屠伟铭,张德新,陈卫红.全球高分辨率资料同化业务系统.见:郭肖容等主编.台风暴雨业务数值预报方法和技术的研究.北京:气象出版社,1995.514 ~ 523.
- 6 皇甫雪官,杨学胜,应祝明等.高分辨率的全球环流背景预报模式.见:郭肖容等主编.台风暴雨业务数值预报方法和技术的研究.北京:气象出版社,1995.462 ~ 471.

## THE COMPARISON EXPERIMENTS OF SV AND LAF INITIAL PERTURBATION TECHNIQUES USED AT THE NMC ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM

Yang Xuesheng    Chen Dehui

Leng Tingbo

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

(North Computation Center, Beijing 100091)

Huang Zhuo

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

The Ensemble Prediction System (EPS) at NMC is briefly described. It mainly includes such seven parts as the data pre-processing, optimal interpolation analysis, the forecasting model (T106L19), the computation of initial perturbations based on singular vectors, post-processing, the generation of ensemble products and the system monitoring. The configuration of EPS compromises one control forecast started from the unperturbed analysis and 31 perturbed forecasts started from the perturbed analysis. Then the lagged average forecasting (LAF) scheme with 12 members is proposed and implemented at the SW-1 computer. The comparison experiments are conducted by using different initial perturbation techniques. One is SV (singular vectors), the other is LAF. The results show that the performance of SV is better than that of LAF in most of the verified regions and lead times, both for the anomaly correlation coefficients and the root mean square errors.

**Key words:** Singular vector    Lagged average forecasting    Ensemble prediction system    Initial perturbation