

# 集合预报简介

张小礼

(国家气象中心)

**摘要** 文中简述了集合预报的进展,对其中的扰动初值的生成与原理,和欧洲中期天气预报中心的集合预报产品作了介绍。

**关键词** 集合预报 扰动初值 预报产品

## 1 引言

大气运动是一种复杂的流体动力学和热力学过程,虽然随着科学技术的发展,人们在观测大气的方法和手段上有了很大的提高。但是由于各种客观原因,使观测结果距真实大气有一定的偏差,因此观测结果只是真实大气的近似状态,而由此所做的天气预报也只能是天气发展的概率估计。人们在研究数

值预报模式的初值敏感性和误差增长中已发现大气动力-热力学方程组本身,具有内在的随机性,所以用集合预报(ensemble forecast)的方法来提高中期以上的数值预报的预报概率已逐渐被采用。1992年9月,欧洲中期天气预报中心和美国国家气象中心的集合预报业务系统均投入了业务运行。

## 2 扰动初值

集合预报的核心问题是扰动初值的形成, 早先人们采用了 Mantecarlo 方法 (MCF), 即在分析场上加入随机扰动, 形成初值, 分别输入模式积分, 然后将不同初值的预报结果进行集合平均, 试验证明, 效果不理想, 研究后认为, 这是由于初值样本位象空间的维数(独立方向数)远大于实际可能做的集合预报的个数, 所以这种方法不能产生适用的扰动初值。另一种使用的方法叫时间滞后法(LAF), 它是用相距 6 小时或 12 小时的不同时刻初始场分别做预报, 然后把预报时刻相同的结果求平均, 这种方法比 MCF 方法的效果有所提高, 研究结果表明 LAF 预报方法对改进 10 天到 30 天的预报是有益的<sup>[1]</sup>。

我们知道天气形势的演变和发展是由瞬时扰动造成的, 即与有限时间内的不稳定扰动的增长有关, 而有限时间内的不稳定扰动的增长与线性传播的主向量相对应<sup>[2]</sup>, 所以我们可以用求解模式的不稳定扰动的矩阵的方法, 形成扰动初值, 做集合预报, 欧洲中期

天气预报中心的集合预报业务系统正是采用了这种方法, 现将此方法简述如下。

设  $x$  是状态矢量, 其发展方程为

$$\frac{dx}{dt} = Ax \quad (1)$$

方程(1)的线性扰动方程可写作

$$\frac{dx}{dt} = A_1 x \quad (2)$$

其中  $A_1 = \delta A / \delta x |_{x(t)}$  是轨迹  $X(t)$  的正切算子, 设  $L = L(t_0, t)$  是积分传播算子, 则有:

$$X(t) = LX(t_0) \quad (3)$$

我们定义线性扰动空间的内积为

$$(x, y) \equiv \langle x; Ey \rangle \quad (4)$$

$E$  为权重因子,  $\langle ; \rangle$  为欧拉标量积, 定义矢量的模为

$$\|x\|^2 \equiv (x, x) = \langle x; Ex \rangle \quad (5)$$

则有

$$\|x(t)\|^2 = (Lx(t_0), Lx(t_0)) \quad (6)$$

记  $X_0 = X(t_0)$ , 定义算子  $L$  的共轭为

$$(L^* X; Y) = (X; LY) \quad (7)$$

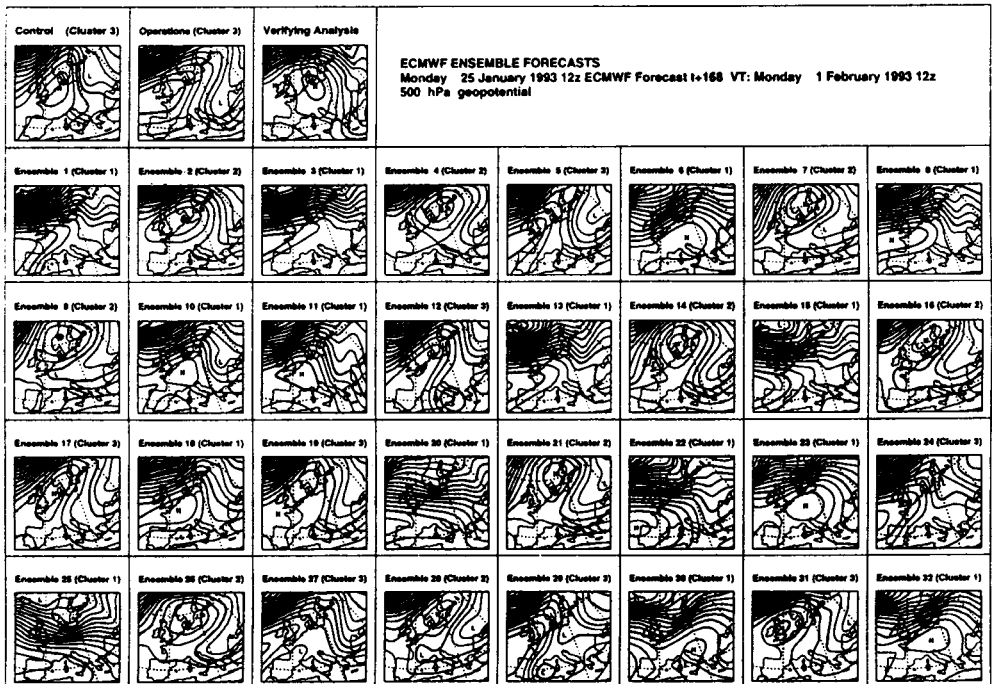


图 1 “邮票图”。初值为 1993 年 1 月 25 日的欧洲地区 500hPa 高度场七天预报集合

则

$$\begin{aligned} \|X(t)\|^2 &= (LX_0; LX_0) \\ &= (L^{*E} \cdot LX_0; X_0) \quad (8) \end{aligned}$$

这里  $L^{*E} \cdot L$  的特征值的平方根称为  $L$  的特征值,  $L^{*E} \cdot L$  特征向量称为  $L$  的主特征向量 ( $SV_i$ )。设  $L^{*E} \cdot L$  的特征值为  $\sigma_i^2$ ,  $V$  为归一化的  $\sigma_i$  值的向量, 则有:

$$L^{*E} \cdot L = V \sum V^T \quad (9)$$

$\sum$  为对角向量, 则  $t$  时刻的  $SV_i(t)$  的模为

$$\begin{aligned} \|V_i(t)\|^2 &= (L^{*E} \cdot Lu_i(t_0); v_i(t_0)) \\ &= \sigma_i^2 \|v_i(t_0)\|^2 \quad (10) \end{aligned}$$

$SV_i, V_i$  定义了一个正交基底, 因此我们可利用方程(10), 用  $t_0$  时刻的值计算  $t$  时刻的模、特征值  $\sigma_i$  给出了  $t_0$  与  $t$  时刻的振幅因子, 扰动矢量的方向由最大的  $\sigma_i$  值的矢量方向数来给定, 这样通过  $\sigma_i$  值的选取和组合就能得到不同的扰动初值<sup>[3]</sup>。

美国国家气象中心的集合预报业务系统采用了相似的原理, 其具体做法是: (1) 在大气分析场中加入很小的任意扰动; (2) 将大气扰动值与分析值分别积分 6 小时; (3) 将两结果相减得到一个差场; (4) 将差场乘以比例因子形成扰动初值, 加上或减去分析场进行集合预报<sup>[4]</sup>。

### 3 集合预报产品<sup>[5]</sup>

与早期单一的时间平均场相比, 目前集合预报的产品的种类有了很大的发展。现将欧洲中期天气预报中心的集合预报产品介绍如下\*:

#### 3.1 “邮票图”

由 33 个集合预报成员加上业务系统的预报结果和分析场共 35 张图缩放在一张大图上组成, 它给出了欧洲地区 500hPa 天气形势场, 因图大小形似邮票故名, 见图 1。这是初始场为 1993 年 1 月 25 日预报的第七天 500hPa, 第一张是控制预报, 即不加扰动的 T63L19 模式的预报结果; 第 2 张是业务预报即 T213L31 业务模式的结果; 第 3 张是分

析场图。邮票图这种形式, 对每单张图中的天气形势的细节而言, 可能是不太清楚, 但对天气尺度的系统而言, 清晰度是足够了, 它对预报员是有用的, 因为人眼足以认出一个天气系统是否发展(与分析场比较)。

当然, 如果集合尺度的大量增加会使这种人眼主观分析的效率降低, 所以下面介绍的客观概率分析方法能弥补这种不足。

#### 3.2 500hPa 高度天气形势分类演变图

集合预报的结果也能用在天气预报形势演变的预报, 采用聚类分析的方法(统计分析方法中的一种), 对高度场进行分类计算。优点是能消除预报区域中一组集合预报成员之间的不一致所造成的混乱状态。

计算时采用集合预报成员之间高度场的均方根误差作为分类标准。图 2 给出第五和第七天的预报图, 在计算时使用了 500—1000hPa 的厚度和 850、500hPa 的温度, 经过一年多的试验, 发现对低压的移动效果较好。

#### 3.3 “概率烟羽”图

为了给出集合预报在某一特定区域的集合发散评估, “烟羽”显示了 850hPa 高度上温度随时间的变化, 其间隔是 1K。

在做概率计算时假定每个集合预报成员具有相同的可信度, 在计算百分比时对概率评估进行了高斯平滑。由于在地形陡峭地区 T63L19 模式与 T213L31 模式在 850hPa 面上的温度有较大差异(即使两者的天气形势预报相近), 为排除这种矛盾, 所以 850hPa 的温度场由 500hPa 的高度场来计算推出。另外也可给出了降水概率预报, 等级划分为 1—10%、10—30%、30—50%、50—100% 4 档, 业务预报和控制预报值, 也包括在“烟羽”中(见图 3)。

#### 3.4 概率图

给出 10 米风速, 850hPa 温度距平和降雨的概率图, 与“烟羽”图处理方法相似, 集合

\* 编者注: 因图缩小, 图例不清楚, 如感兴趣, 请查阅相关资料。

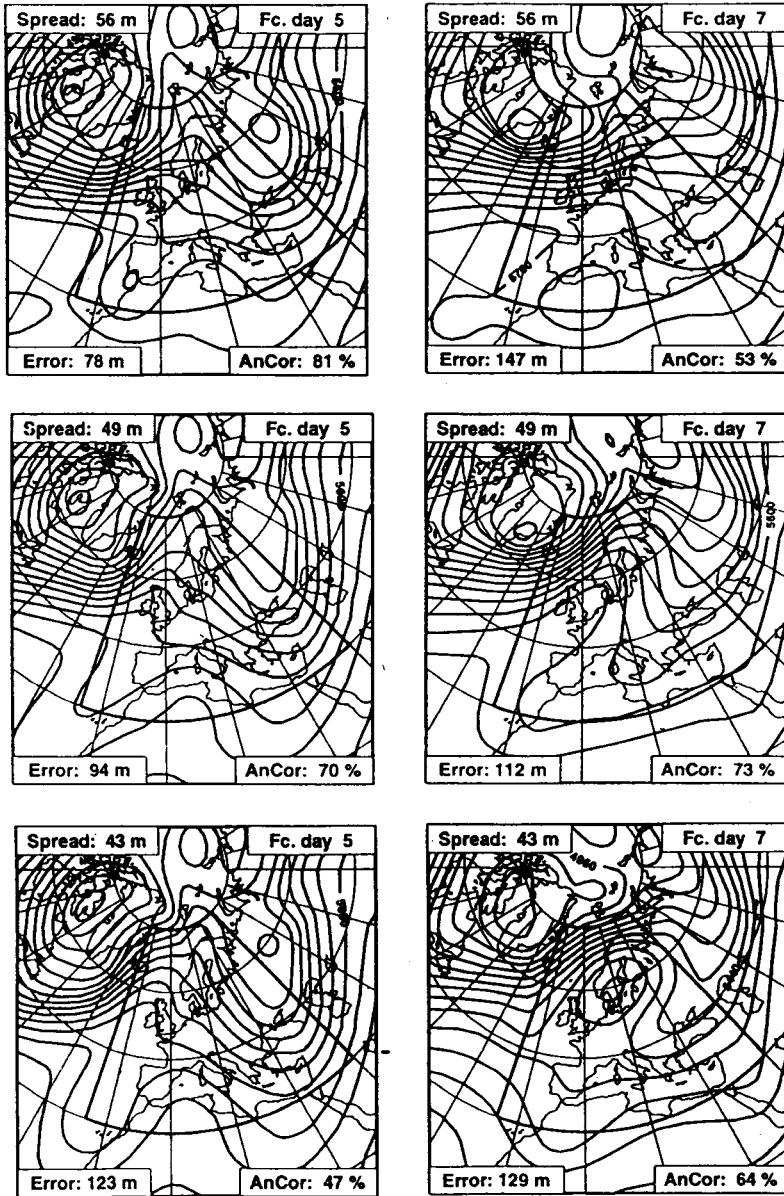


图 2 500hPa 高度天气形势分类演变图。初值为 1993 年 1 月 25 日

成员中的每个单个预报均认为有相同的可信度,雨区的等级划分为( $>1$ 毫米/天),( $>5$ 毫米/天),( $>10$ 毫米/天)和( $>20$ 毫米/天)。风速的等级划分为( $>10$ 米/秒)和( $>20$ 米/秒),温度距平等级划分为:( $<-8K$ ),( $<-4K$ ),( $>4K$ )和( $>8K$ )(见图 4)。

#### 4 小结

集合预报是正在发展中的数值预报方法,它伴随着计算机能力的增长而快速发展,相信随着国家中心计算资源的不断改善,这一预报方法的应用对中期和中期以上的天气预报提供帮助。

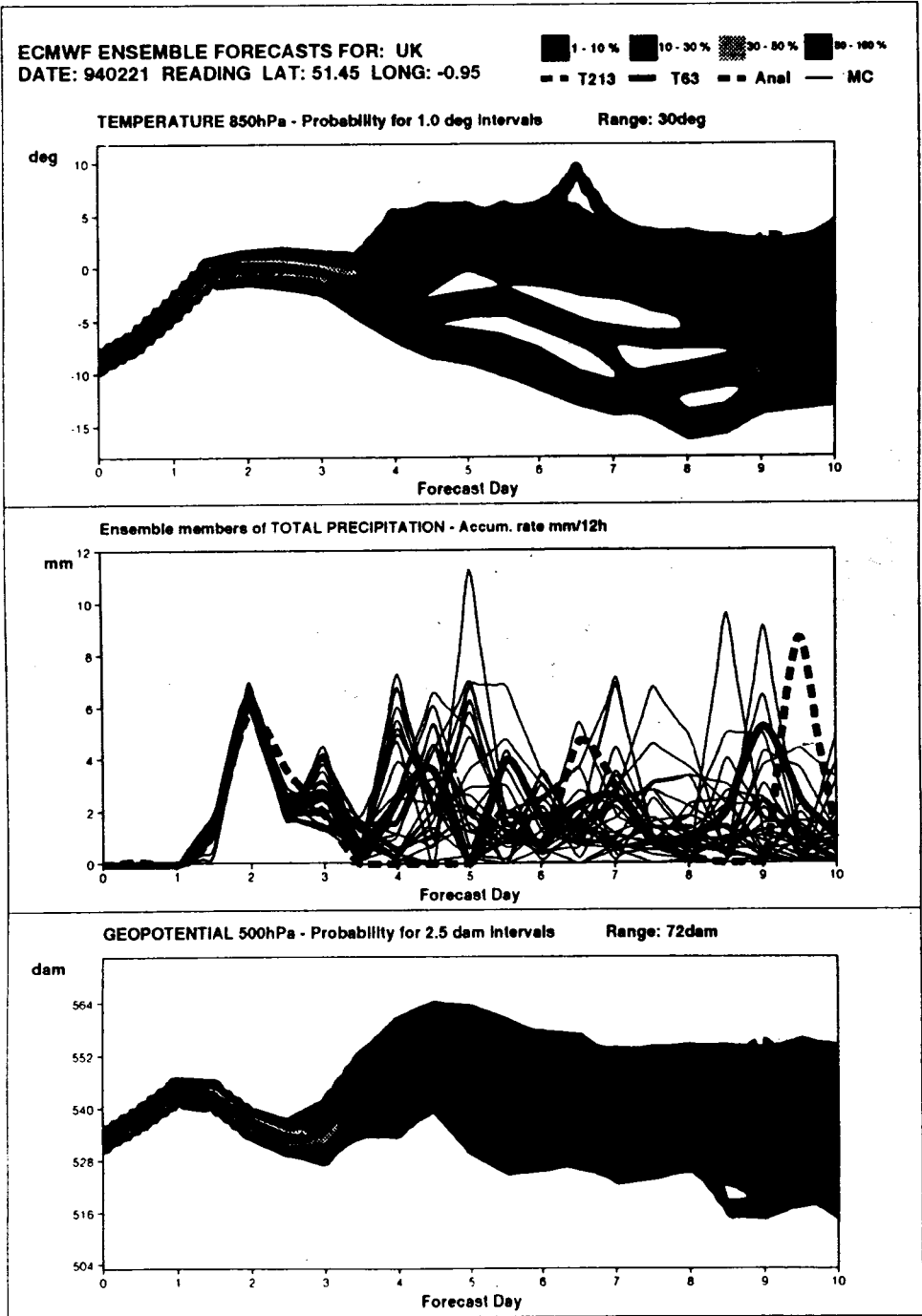


图 3 “概率烟羽”图。初值为 1994 年 2 月 21 日,地点:英国里丁

参考文献

1 Tracton M S. Application of dynamic extended rang forecasting (DEKF) to the monthly forecast problem, proceedings of the Twelfth Annual Climate Diagnostics

workshop, 12-16 Oct. 1987, 381-386  
 2 Buizza. Localization of optimal perturbations using a projection operator. Q J R Meteorol Soc, 1994, 120: 1647-1681  
 3 R Buizza. Computation of optimal unstable structures for

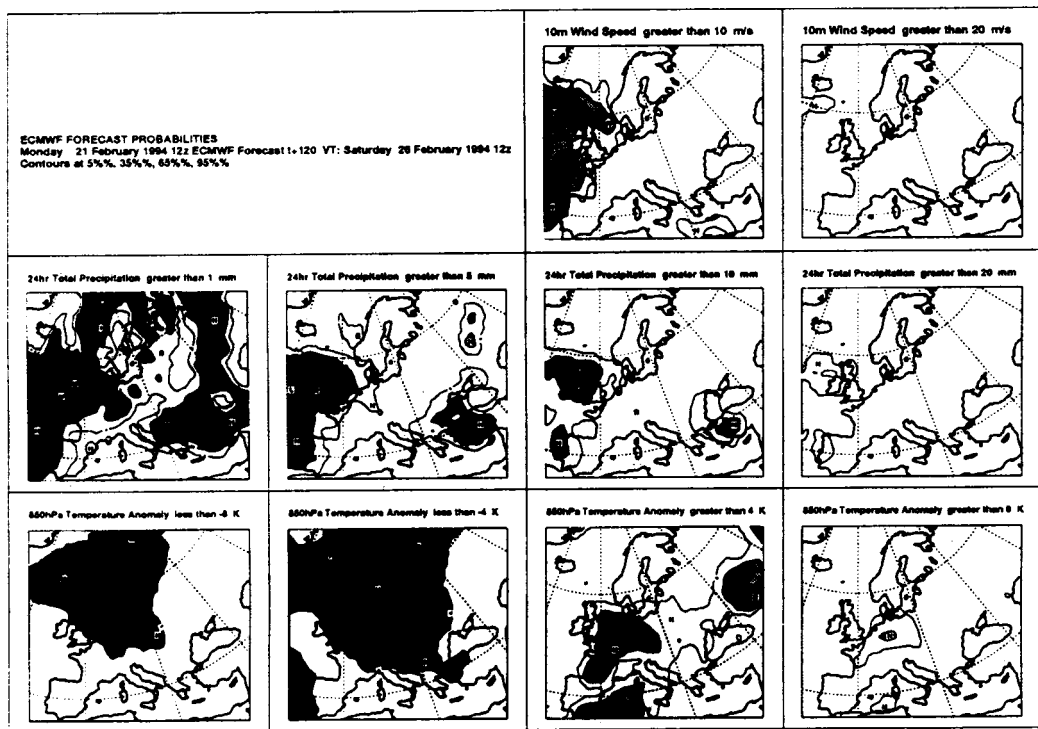


图 4 概率图。第一行两张为风速图,第二行四张为 24 小时降水图,第三行四张为 850hPa 温度距平图,初值为 1994 年 2 月 21 日

a numerical weather prediction model. Tellus, 1993, 45:  
388-407

NMC: Fractional Aspect. Weather and Forecast, Sept  
1993, 8(3)