

随机动力处理在天气形势预报中的应用及微机业务系统

朱正心

(江苏省气象台, 南京 210008)

提 要

本文运用欧洲中期天气预报中心的数值预报产品, 组成平均高度场, 通过具有耗散强迫低阶动力学系统的控制方程, 作随机动力处理, 对有限区域 500 hPa 高度场作下一旬的平均高度场预报, 经试验证明其结果能给中期预报提供依据。

关键词: 随机动力处理; 低阶动力系统; 微机业务系统。

一、引 言

中期天气预报, 在实际工作中常用的方法有天气学方法、数理统计方法或 MOS 法等。旬预报的方法显得比较单一, 对环流形势场的预报则更少。欧洲中期天气预报中心给出的未来 72、96、120 小时等不同时次的数值预报产品, 给中期天气预报提供了较多的预报信息。为了能适当地延长预报时效以及作中期预报特别是旬的预报, 我们考虑对具有强迫耗散低阶动力系统的控制方程, 进行随机处理, 取前期 10 天的历史资料作为初值, 按控制方程的差分形式进行时间积分, 作 10 天预报。根据试验来看, 预报的有限区域格点平均环流形势与实际的环流形势十分接近, 给中期天气预报增加了依据。本工作在 IBM-PC 微机上实现, 建立了一套软件系统。

二、随机动力计算

根据章基嘉等译的《中期天气预报科学基础》一书中给出的具有强迫耗散的低阶动力学系统方程组, 用前 10 天高度场对方程组数值积分, 预报下一时刻的高度场, 即后 10 天的平均高度场。

已知, 由具有强迫耗散的低阶动力学系统导出平均的控制方程是^[1]

$$\begin{cases} \frac{dX}{d\tau} = \frac{1}{2}XY - X - \beta(X - X_E), \\ \frac{dY}{d\tau} = -\frac{1}{2}X^2 - Y - \beta(Y - Y_E). \end{cases} \quad (1)$$

1992 年 7 月 9 日收到, 1993 年 4 月 7 日收到修改稿。

首先将方程进行随机动力处理。为此目的, 我们引入变量 X , Y 的概率分布及数学期望估计值 $E(X)$, $E(Y)$ 。令

$$\begin{cases} \bar{X} = E(X), \\ \bar{Y} = E(Y). \end{cases} \quad (2)$$

同时, 在实际处理中需要计算如 $E(XY)$, $E(X^2)$, $E(Y^2)$ 这样的一些项。利用协方差的定义, 即

$$\text{cov}(XY) = E[(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})], \quad (3)$$

我们可得到

$$E(XY) = \bar{X}\bar{Y} + \text{cov}(XY). \quad (4)$$

同理有

$$\begin{cases} E(X^2) = \bar{X}^2 + \sigma^2(X), \\ E(Y^2) = \bar{Y}^2 + \sigma^2(Y). \end{cases} \quad (5)$$

假定

$$E\left(\frac{dX}{d\tau}\right) = \frac{dE(X)}{d\tau} = \frac{d\bar{X}}{d\tau}, \quad (6)$$

应用算符 E 我们从(1)式得到

$$\begin{cases} \frac{d\bar{X}}{d\tau} = \frac{1}{2}\bar{X}\bar{Y} - (1+\beta)\bar{X} + \beta X_E + \frac{1}{2}\text{cov}(XY), \\ \frac{d\bar{Y}}{d\tau} = -\frac{1}{2}\bar{X}^2 - (1+\beta)\bar{Y} + \beta Y_E - \frac{1}{2}\sigma^2(X). \end{cases} \quad (7)$$

注意到在(7)式的求导中, 我们假定 X_E 和 Y_E 在给出时并没有任何不确定性。如果方程(7)要成为有用的方程组, 则需要有关的 $\text{cov}(XY)$ 和 $\sigma^2(X)$ 的预报方程, 很容易从(4)式导得关系式

$$\text{cov}(XY) = E(XY) - \bar{X}\bar{Y},$$

将上式对 τ 求微商并利用(1)式和(7)式得

$$\begin{aligned} \frac{d\text{cov}(XY)}{d\tau} &= E\left(X\frac{dY}{d\tau} + Y\frac{dX}{d\tau}\right) - \bar{X}\frac{d\bar{Y}}{d\tau} - \bar{Y}\frac{d\bar{X}}{d\tau} \\ &= E\left[-\frac{1}{2}X^3 - (1+\beta)XY + \beta XY_E + \frac{1}{2}XY^2\right] \\ &\quad - (1+\beta)XY + \beta X_E Y + \frac{1}{2}\bar{X}^3 + \frac{1}{2}\bar{X}\sigma^2(X) + (1+\beta)\bar{X}\bar{Y} - \beta\bar{X}Y_E \\ &\quad - \frac{1}{2}\bar{X}\bar{Y}^2 - \frac{1}{2}\bar{Y}\text{cov}(XY) + (1+\beta)\bar{X}\bar{Y} - \beta\bar{Y}X_E, \end{aligned} \quad (8)$$

对右端项进行整理可得

$$\frac{d\text{cov}(XY)}{d\tau} = -\bar{X}\sigma^2(X) + \frac{1}{2}\bar{X}\sigma^2(Y) + \frac{1}{2}\bar{Y}\text{cov}(XY) - 2(1+\beta)\text{cov}(XY). \quad (9)$$

在求上式时, 我们利用了一个非常重要的假定, 即可以略去三阶矩。通常这些三阶

矩会在有关的二阶矩 $[\sigma^2(X), \sigma^2(Y)$ 和 $\text{cov}(XY)]$ 的方程中出现, 因为

$$E(XYZ) = \bar{X}\text{cov}(YZ) + \bar{Y}\text{cov}(XZ) + \bar{Z}\text{cov}(\bar{X}\bar{Y}) + \bar{X}\bar{Y}\bar{Z} + T(XYZ)$$

中 $T(XYZ)$ 是三阶矩, 假定它很小, 可以不考虑。

应用类似的方法和假定, 我们能导出 $\sigma^2(X)$ 和 $\sigma^2(Y)$ 的方程, 于是得到

$$\begin{cases} \frac{d\sigma^2(X)}{d\tau} = \bar{X}\text{cov}(XY) + \bar{Y}\sigma^2(X) - 2(1+\beta)\sigma^2(X), \\ \frac{d\sigma^2(Y)}{d\tau} = -2\bar{X}\text{cov}(XY) - 2(1+\beta)\sigma^2(Y). \end{cases} \quad (10)$$

在这些假定下, 显然(7)、(9)和(10)式共五个方程就能组成一个封闭方程组。对它们可以数值积分, 预报下一时刻的格点值。该模式的特点在于考虑了旬平均高度场所具有的方差分布特征, 上述处理正是从这个角度去讨论问题的。

三、计 算

运用上述公式与确定的参数和步长, 编制程序, 把有关资料代入进行计算。

1. 资料来源

欧洲中期预报中心给出北半球范围的格点高度数值预报产品。我们取有限范围 60—135°E、20—60°N, $5^\circ \times 5^\circ$ 的格点高度值, 计算中令 X 是波数为 1 的序列, Y 是波数为 2 的序列 (当然可作其它规定), 把前期连续 10 天的相同区域的高度值代入公式, 预报后 10 天的平均环流形势场。

2. 代公式运算

令参数 $X_E = 2$, $Y_E = 10$, $\beta = (3 + \sqrt{5})/2$ 。

输入资料后计算 10 天的平均场, 每天的距平、方差 (或协方差) $\sigma^2(X)$ 、 $\sigma^2(Y)$ 、 $\text{cov}(XY)$ 代入公式。求 $d\bar{X}/d\tau$ 、 $d\bar{Y}/d\tau$ 、 $d\sigma^2(X)/d\tau$ 、 $d\sigma^2(Y)/d\tau$ 、 $d\text{cov}(XY)/d\tau$, 按规定步长自行迭代而得计算结果。计算流程示意如图 1。

3. 结果分析

用 1988 年 3 月 1 日到 10 日按数值预报产品所给出逐日第 96 小时预报值, 作为初值, 做 10 天 (旬) 预报。经计算得到 3 月 11 日到 20 日预报的平均场, 其环流形势,

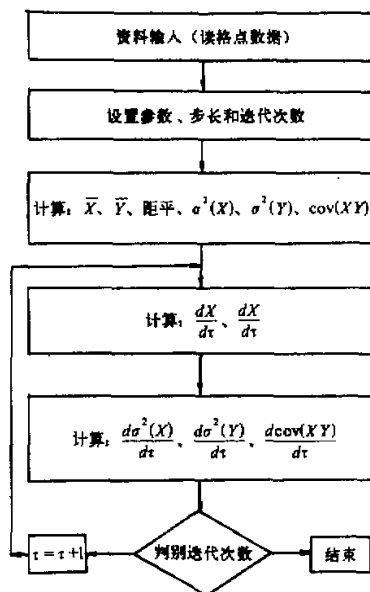


图 1 微机计算流程示意图

高值区、低值区的强弱、分布的位置和 3 月 11 日到 20 日实况高度场基本一致。图 2a 是 3 月 11 日到 20 日预报高度平均场。图 2b 是实况高度平均场。

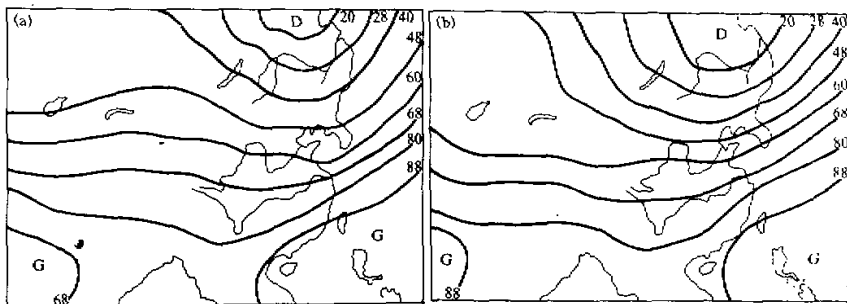


图 2 1988 年 3 月 11—20 日高度平均场
(a) 预报, (b) 实况

从图中可以看出, 预报 20°N, 120—135°E 范围是副热带高压区, 50—60°N, 115—135°E 是低压区, 30°N, 100—135°E 是偏西气流控制区, 均与实况一致。其中 30—40°N, 100—135°E 的环流形势和 20°N, 115—135°E 的副高强弱, 预报和实况很接近, 对中期天气预报有重要的参考价值。另外, 分别对 9 条纬圈上的格点高度预报值和实况值计算了均方误差 $S(I)$, 设 $A(I, J)$ 为高度场实况值, $F(I, J)$ 为预报值, $I=1, 2, \dots, 9, J=1, 2, \dots, 16, N=16$, 计算公式如下:

$$S(I) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [A(I, J) - F(I, J)]^2}.$$

从表 1 得出在江苏省所处的纬度位置 30°N 附近的均方误差值比较小, 说明此带的实况和预报是较接近的。

表 1 9 条纬圈实况和预报的均方误差值表

纬圈	66°N	55°N	50°N	45°N	40°N	35°N	30°N	25°N	20°N
$S(I)$	5.4	7.8	8.5	7.7	4.5	2.9	2.5	1.8	1.4

另外, 对步长 $\Delta\tau$ 取 1、0.1、0.25、0.125、0.5 等分别作了预报, 发现 $\Delta\tau$ 取 1 预报结果和实况最接近。

四、微机业务系统

欧洲中期预报中心 500 hPa 格点气象报文进入微机后, 要对气象报文进行字符检查和整理编辑。建立数据文件后才能使用。

1. 检查报文的字符

气象报文在传输过程中, 由于传输系统不稳定和环境条件不稳定等原因, 造成气象

甲
乙
甲
乙

大气科学(1995.1)

报文变字、缺行、丢失字符等。因此对气象报文的每个字符都要检查, 经过纠正后, 才能正常编辑。

2. 报文的编辑

欧洲中期天气预报中心数值预报产品格点报的编辑, 主要是根据格点报的字符结构和要素指示码、地区指示码、时间指示码的有关规定, 分解字符、编辑报文。500 hPa 报文中每行有 57 个字符, 每 3 个字符是一个格点值, 共 19 个格点值。第一行是 20°N、依次是 25°N、30°N、35°N、40°N...85°N。90°N 是一个点。用高级语言读报文中的每一行字符, 再分解字符, 把格点值放在数组中, 全部结束后, 分别建立数据文件。对 500 hPa 有限区域作随机动力处理。只要直接运行 WWW.EXE 程序, 便可打印出结果。

五、结 语

通过具有耗散强迫的低阶动力学系统的控制方程, 作随机动力处理。用前 10 天高度场预报后 10 天的平均高度场。从这个实例结果来看预报的环流形势、高值系统低值系统的分布和强弱等与实际情况十分接近。本工作可以在省级气象台利用微机对中期天气形势用随机动力处理方法制作预报。当前, 使用微机作随机动力处理还很少见。今后, 本工作还需不断完善以利进一步提高。

参 考 文 献

- [1] 章基嘉等译, 1987, 中期天气预报科学基础, 气象出版社。
- [2] 王路敬编, 1992, 微型机应用基础教程, 清华大学出版社。

The Application of Stochastic Dynamic Procedure to the Prognosis of Weather Pattern with Microcomputer Operational System

Zhu Zhengxin

(Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008)

Abstract

The numerical forecasting products made by the European Centre for Medium-range Weather Forecast are used to form the mean height fields. Using the governing equations of low order dynamics system with dissipative force, we made the prediction of the mean 500 hPa height fields of limited range for next ten days. The experiments prove that the results could be a useful basis for mid-range weather forecast.

Key words: stochastic dynamic procedure; low order dynamics system; microcomputer operational system.