

用一统计动力模式做1000hPa 温度月预报*

陈英仪

(国家海洋环境预报中心, 北京)

摘 要

本文用一简单的统计动力模式, 对冬季1000hPa北半球温度作旬及月平均预报试验。采用了三种不同的求平均方法: 一是对逐日预报的结果取所需天数的平均; 二是用一窗口过滤器求平均; 三是导出平均预报公式。预报结果表明, 三种方法的旬和月平均预报均超过惯性预报的水平, 其中以后两种方法为佳。

关键词: 1000hPa温度; 长期数值预报; 平均预报。

一、引 言

长期天气预报大致采用两种方法: 一是经验、统计的方法; 二是数值预报方法。前一种方法发展早, 并用于业务预报中, 但总的预报水平仍很低。根据70~80年代原苏联、美国和英国等一些长期预报历史较久的国家的预报检验结果来看, 月和季预报的总平均水平也不过与惯性(或持续性)预报水平相当。

长期数值预报最大的困难在于流体动力学方程组对初始微小误差极其敏感。数值积分约两天后, 此微小误差便增长一倍。从这意义上说, 逐日预报15天以后的天气是不可能的。研究也表明, 如果不报逐日天气, 而报一个时段的平均天气, “不可预报上限”可延长至月甚至季。因此, 国内外的长期数值预报都做平均预报。平均预报虽然比逐日预报结果好, 但总的水平也是不高的。至今还没有一个国家发布长期数值预报的业务, 只处于研究试验阶段。

为什么平均预报比逐日预报的准确率高? 一般认为, 平均预报可以滤去高频的“噪声”, 突出了长期的慢变化。但也有另一种可能, 主要是头10天左右的逐日预报有较高的准确率所致。本文的目的之一旨在证明取前10天逐日预报的平均代替30天的平均预报来提高预报的准确率是可行的。

鉴于较完整的大气环流模式的不可预报时限的限制, 而且计算量又太大, 故本文采用一个很简单的统计动力模式。

• 注: 这是国家自然科学基金资助项目。

本文于1991年7月3日收到。

二、模式及资料

本文的预报对象是1000hPa北半球温度相对于多年气候平均的距平值。

1000hPa温度距平满足热力学第一定律:

$$-\frac{\partial T'}{\partial t} = Q' \quad (1)$$

其中 T' 为1000hPa温度距平, Q' 为包括温度平流、感热、潜热等所有的总距平加热率。从历史资料可求出每天的 Q' 值。再假设 Q' 满足下面的经验公式:

$$Q' = \alpha T' \quad (2)$$

α 是空间坐标的函数。把上式代入(1)式, 并略去撇号(应记住本文讨论的全是距平量), 即有:

$$-\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha T \quad (3)$$

这就是本文采用的模式。算子 α 从大量的历史资料中确定, α 的选取是为了使模式从一个初始状态 $T(0)$ 能预报出最佳的将来状态 $T(1)$ 。如果把(3)式写成前差近似, 即:

$$T(1) - T(0) = \Delta t \alpha T(0) \quad (4)$$

用 $T(0)$ 的转置 $T^T(0)$ 乘以上式并对所有样品取平均可得

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \langle T(1) T^T(0) \rangle \langle T(0) T^T(0) \rangle^{-1} - 1 \right\} \quad (5)$$

角括号 $\langle \rangle$ 为对所取样品的平均, “ -1 ”为矩阵的逆。(5)式与用最小二乘法的结果是完全一致的, 即用(5)式算出的 α 在拟合历史资料时应是最佳的。

一旦 α 求出后, 便可用(3)式一步步预报未来的形势。(3)式建立在物理定律的基础上, 它归结为一个初值问题。但与一般大气环流模式的预报只决定于初始场不同, 它还考虑到了历史的形势演变(体现在 α 上)。后一点对长期数值预报是非常重要的, 因为预报的时间越长, 初始场的作用越不显著。Roads把这类模式叫经验线性模式^[1]。按王宗皓等^[2]的分类, 也可叫统计动力模式。

本文用的资料是1967~1981年共15年1月和12月逐日两次北半球1000hPa温度场, 考虑到12月1日起至1月31日共62天是连续的, 我们去掉1967年1月和1981年12月的资料, 留下14年、每年124个记录作为实况资料。此资料由Roads博士提供, 而它来源于Speth和Kirk^[3]。资料用球谐函数的系数并在波数15处作三角截断记录的。我们把温度场处理成对赤道对称, 它的物理空间量 A 与球谐函数的关系为:

$$A(\phi, \lambda) = \sum_{m=0}^{15} \sum_{n=m}^{15} a_n^m Y_n^m(\phi, \lambda) \quad (6)$$

其中 ϕ 和 λ 为纬度和经度, m 和 n 分别为纬向和二维波数, Y_n^m 为球谐函数, 其表达式为:

$$Y_n^m(\phi, \lambda) = P_n^m(\sin\phi) \begin{cases} 1 & m=0 \\ \sqrt{2} \sin(m\lambda), & m>0 \\ \sqrt{2} \cos(m\lambda), & m>0 \end{cases} \quad (7)$$

其中 P_n^m 为伴随勒让德函数。

这样一来, 温度场的球谐系数 a_n^m 有136个非零值。本文的所有计算均在谱空间进行, (3)式中的 T 就是136维的向量, 算子 α 应为 (136×136) 阶方阵。 Δt 取12小时, 这是观测资料的最小时间增量。

(3)式的预报能力用交叉检验进行, 目的是尽可能让历史资料足够多。当我们要预报某一年的天气时, 就把其余的13年作为“历史资料”看待。比如用1967~1979年作历史资料求出 α 来预报1980年的地表温度, 用1967~1978年及1980年作“历史资料”求的 α 来预报1979年, ……余类推。最后我们可得到14年独立样本的预报。在求 α 时, (4)式可组成1599 (即 13×123) 个方程。因此, 样品资料数与未知数之比约为12:1。

三、逐日预报的结果

作预报之前, 让我们对评价预报好坏的两个量下定义。预报效果采用流型相关系数 ρ 和均方根误差 e 来量度。在谱空间中其定义如下:

$$\rho = \frac{\sum_m \sum_n x_n^m Y_n^m f - X_0^0 Y_0^0 / 2}{\left(\sum_m \sum_n Y_n^m{}^2 f - Y_0^0 / 2 \right)^{1/2} \left(\sum_m \sum_n X_n^m{}^2 f - x_0^0 / 2 \right)^{1/2}} \quad (8)$$

$$e = \left\{ \sum_m \sum_n (X_n^m - Y_n^m)^2 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

其中

$$f = \begin{cases} \frac{1}{2}, & \text{当 } m=0 \\ 1, & \text{当 } m>0 \end{cases}$$

X_n^m 和 Y_n^m 分别为观测的与预报的温度场的球谐系数, X_0^0 和 Y_0^0 为它们的全球平均值。

(3)式的前差近似可写成

$$T(n\Delta t) = (1 + \Delta t \alpha) T((n-1)\Delta t) \quad (10)$$

Δt 仍取12小时。假如要预报未来24小时的地表温度, 则把初值代入(10)式, 第一步($n=1$)算出的 $T(\Delta t)$ 为未来12小时的预报值, 将此预报值作为初始值再算一步 (此时 $n=2$), 所得的结果就是24小时的预报值。图1的曲线“M”就是用(10)式逐步预报到第30天, 共14年、每年62天的预报例子的平均相关系数 ρ (图1a) 和平均均方根误差 e (图1b) 与预报天数的关系。图中的曲线“P”为惯性预报 (即用初始场直接外推) 的结果。从均方

误差看,模式的预报均优于惯性预报,但从相关系数看,只有短于15天的预报才比惯性预报好。

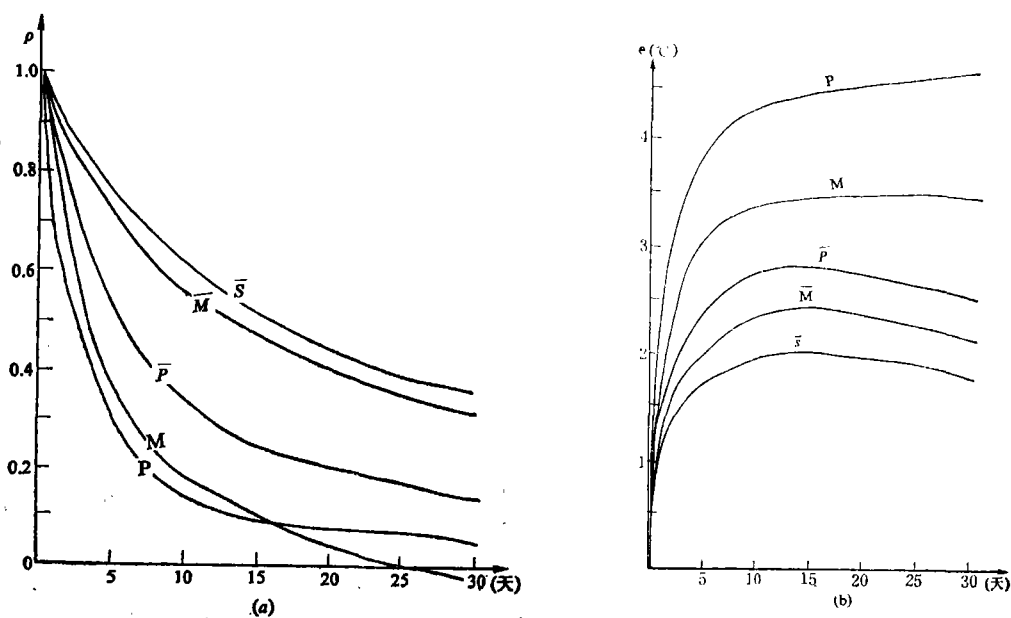


图1 各种预报的相关系数(a)和均方误差(b)

与预报天数的关系

曲线“M”是用(10)式作逐步预报的结果;“P”为惯性预报;上标带“-”为相应的平均预报;“S”是用(12)式作平均预报的结果。

四、平均预报

最简单和最直接的平均预报方法是对逐日预报结果取平均。对模式逐日预报取平均的平均预报结果见图1的曲线“ \bar{M} ”。可见,不论是均方误差还是相关系数,平均预报“ \bar{M} ”的确大大优于相应的逐日预报“M”。比如旬平均预报与实况的相关系数达0.57,而第10天的预报只为0.20;月平均预报的相关达0.32,第30天的预报为-0.02。不过,相应的平均惯性预报水平也提高了(见曲线“ \bar{P} ”)。这里平均惯性预报的定义是用前一时段的平均形势外推后一时段的平均。从图1看,模式的平均预报也大大优于平均惯性预报。

从曲线“M”看,逐日预报的水平是不高的,尤其是5天以后的预报,相关系数低于0.4。把这些预报不佳的结果计入平均预报中会对平均预报结果不利。Roads^[4]首先提出平均预报准确率的提高主要靠头10天左右较准确的逐日预报的假设,并作窗口过滤试验。他用大气环流模式作60天平均预报的结果表明,简单地舍去15天以后的预报作为一窗口过

滤波器能使60天的平均预报水平得到提高。为了进一步验证这一观点，对上节的逐日预报结果取不同的过滤窗口作30天平均预报试验，相关系数的结果见图2的曲线“A”。的确，取30天的平均结果是最差的，最佳的取平均时间为5天，时间取更短或更长都对预报结果不利。这一结果可作为支持Roads观点的证据。当然，最佳平均时间的选择会因模式而异。若取得太短，会把技术高的部份丢弃，取得太长又会把毫无技术的部分带入，都得不到最佳的平均预报效果。

对平均预报而言，我们只关心某段时间的平均天气，不一定非知道逐日的详情不可。我们可以直接从(3)式推导一个平均预报公式。若平均的温度距平量用 \hat{T} 表示，再引入另一个距平量 T'' ，即某一时段的温度距平与某一时段的平均温度距平之差：

$$T'' = T - \hat{T} \quad (11)$$

注意上式的 T 为某时刻相对于气候值的距平（已略去了撇号），代入(10)式，把每一步详细写出为：

$$\begin{aligned} T(1) &= T(0) + \Delta t \alpha [\hat{T} + T''(0)] \\ T(2) &= T(0) + \Delta t \alpha [2\hat{T} + T''(0) + T''(1)] \\ &\vdots \\ T(Q) &= T(0) + \Delta t \alpha \left(Q\hat{T} + \sum_{n=0}^{Q-1} T''(n) \right) \end{aligned}$$

对 Q 步取平均并稍加整理可得某一时段的平均预报公式：

$$\hat{T} = \left[1 + \frac{(Q+1)}{2} \Delta t \alpha \right]^{-1} T(0) + \frac{\Delta t \alpha}{Q} \sum_{n=0}^{Q-1} (Q-n) T''(n) \quad (12)$$

对现在 $\Delta t=12$ 小时而言，旬平均的 Q 应等于20，月平均的 Q 应为60。类似的公式最早由陈英仪等^[6]导出。 T'' 是一个很小的量（它先减去气候平均值，又再减去一个某一时段的平均值所剩下的小量），(12)式的最后一项可略去。平均距平温度只决定于初始场 $T(0)$ 和考虑了历史演变的算子 α ，只需作一矩阵运算即可。这也是为什么我们采用温度距平作为预报对象的原因，它先引入 T'' ，然后又略去它。

用平均预报公式的预报结果见图1的曲线“S”。可见，不论从相关系数或均方误差看，其结果是最优的，旬平均预报的相关达0.6，月平均预报也达0.36。

由于(12)式的推导也从一步步积分来的， Q 的步数不取到60对月平均预报效果会不会更好？试验结果表示在图2的曲线“B”中。虽然 Q 取较小值有更好的效果，但最优和最

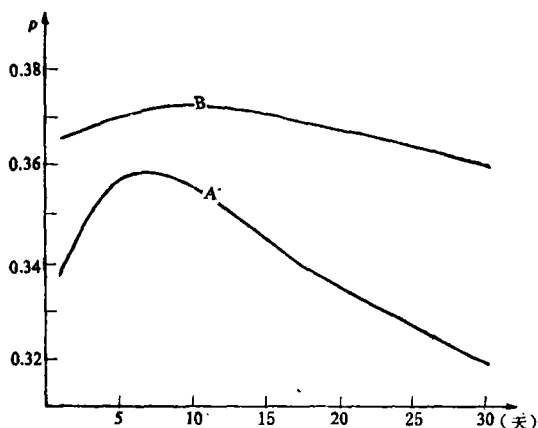


图2 对逐步预报取不同时段平均作平均预报的比较

纵坐标为月预报结果与实况之相关系数，横坐标为取平均之天数。曲线“A”和“B”所用的模式分别为(10)式和(12)式。

差的相关系数值相差甚微,可以忽略。

五、讨 论

本文用一个简单的统计动力模式探讨改进长期平均天气预报的途径。用了三种不同的求平均方法。最直接的是对逐日预报结果取所需天数的平均,平均预报结果大大优于相应的逐日预报,也超过了平均惯性预报。简单地舍弃5天以后的逐日预报作为窗口过滤器能进一步改善月平均预报,更好的办法是直接从模式导出平均预报公式,近900个月平均预报例子的总平均相关系数为0.36,大大超过月平均惯性预报的0.22。

以上三种方法都离不开逐日预报,平均预报公式也是根据逐日预报推出来的。因此,提高长期预报准确率途径应尽可能提高逐日预报的准确率,尤其是前10~15天的预报准确率,也就是要改进数值模式。然而,我们也应考虑到这样的事实,大气环流模式的误差随预报时间的增长而急剧下降,且大大依赖于初值,对短期预报这无疑是很适用的,却不适合于长期数值预报。因为时间越长,初值的作用越不重要,只把初值作为一个问题是不合适的。用本文这样一个简单的统计动力模式作短期预报是不胜任的,但在月平均预报上却有一定的水平不能不说主要是考虑了历史演变规律。因此,提高长期数值预报的最根本途径是发展适合长期天气过程、有别于短期预报的数值模式,这当然要在深刻了解长期天气演变的规律及原理的基础上才能做到。

参 考 文 献

- (1) Roads, J.O., Linear model Predictions of time averages, *J. Clim.*, 1990, 3, 317~336.
- (2) 王宗陆、李麦村等: 天气预报中的概率统计方法, 科学出版社, 206pp.
- (3) Spath, P. and E. Kirka, Representation of meteorological fields by spherical harmonics, *Meteor. Rundsch.*, 34 (1981), 5~10.
- (4) Roads, J.O., Predictability in the extended range, *J. Atmos. Sci.*, 1978, 44, 3495~3527.
- (5) Chen, Y-Y., Chen, S-C., Roads, J.O., Linear predictions and diagnosis of time-averages in a two-level model, *Tellus*, 1991, 43A, 61~69.

MONTHLY FORECASTS OF THE 1000 HPA TEMPERATURE USING A STATISTICAL- DYNAMICAL MODEL

Chen Yingyi

(National Research center for Marine Environment Forecasts, SOA)

Abstract

A statistical-dynamical model is formulated for time-mean forecast experiments of 1000hPa temperature field over the Northern Hemisphere. There are three ways to average in this paper. The simplest and straightforward way is to average over forecast day required. The second is to use a window filter. The third is to derive a time-averaged model from the statistical-dynamical model. The forecasts of 10-day and 30-day average by using three methods mentioned above, especially the last two, have an improvement over a persistence forecast.

Key words: 1000hPa temperature; long-range numerical forecasts; forecasts of time averages.