

中期(旬)天气客观相似预报方案*

钟 元 祝荣霖**

(浙江省气象科学研究所)

目前,中期数值天气预报的最长可用的预报时效约为 6—7 天,对中期数值预报输出产品进行统计释用的 MOS, PP 等方法制作的逐日具体天气预报的最长可用时效约为 5—6 天。要完全靠以上客观预报方法进行 10 天天气变化过程预报仍有待时日。为此,本文提出一个综合考虑中期数值天气预报输出产品及历史天气过程的旬天气客观相似预报方案。本方案用 500 hPa 候平均高度场在预报时刻前后连续两候内的演变特征,在北半球东半部范围及中、低纬区域内确定客观的相似判据,从同期邻域的历史样本中找出大气环流形势演变及区域典型场分布变化最为相似的样本,据此作出 10 天天气过程预报。

1. 相似区域与样本

从中期天气过程及其大气环流背景(主要是大气超长波与长波)演变的时间——空间尺度特征着眼,方案的第一相似区域范围取北半球东半部:20—70°N, 10—180°E。在区域内从 10×10 经纬网格上选取 6 个纬圈和 18 个经圈上的 108 个格点,以格点的 500 hPa 候平均高度值表征北半球东半部大气环流形势分布。考虑到实际 500 hPa 形势图上,中、低纬大气长波数较高纬地区增多,尤其低纬天气系统对我国南方广大地区的天气有重大影响,本方案确定第二相似区域范围为:10—50°N, 65—150°E。在区域内从 5×10 经纬网格上选取 9 个纬圈和 9 个经圈上的 81 个格点,以格点的 500 hPa 候平均高度值分解典型场。相似区域范围及格点位置如图 2 a。

本方案应用预报时刻前后 10 天的客观分析与数值预报输出产品的 500 hPa 高度场资料,合成两个相似区域的预报时段第一候以及前一候连续两候的候平均高度场,作为预报样本。

本方案以 1954 年至 1986 年两个相似区域的连续两候的 500 hPa 候平均高度场为历史样本。

2. 相似判据

本方案在考虑两个样本(预报样本与历史样本)在区域内的大气环流形势相似时,除了着眼于大槽脊和大系统的空间特征,如位置、形状等方面的相似外,还考虑了两样本在空间各点的性质相近,即样本间的距离应尽可能小。

为此定义表征区域内环流形势相似程度的环流相似指数 $C_{j,0}^{(r,l)}$:

$$C_{j,0}^{(r,l)} = \frac{1}{D_{j,0}} \bar{S}_z \bar{S}_m \quad \left(\begin{array}{l} r=1, 2, 3 \\ l=1, 2 \\ j=1, 2, \dots, 33 \end{array} \right)$$

式中, $D_{j,0}$ 为第一相似区域内两样本间的欧氏距离:

$$D_{j,0} = \sqrt{\sum_{i=1}^M (H_{i,j} - H_{i,0})^2} \quad \left(\begin{array}{l} j=1, 2, \dots, 33 \\ M=108 \end{array} \right)$$

* 本文于 1989 年 3 月 16 日收到, 1989 年 12 月 25 日收到修改稿。

** 李秀莉、姚嘉玲参加方案的业务预报工作。

\bar{S}_z, \bar{S}_m 分别为第一相似区域内两样本候平均高度场 H 在纬向与经向上的相似程度, 它们代表了所有纬圈与经圈相似系数 $s(\varphi)$ 与 $s(\lambda)$ 的平均状况, 当 ξ 表示纬圈 φ 或经圈 λ 的序号时, \bar{S}_e 表示 \bar{S}_z 或 \bar{S}_m , 有:

$$\bar{S}_e = \frac{1}{n} \sum_{\xi=1}^m s(\xi)$$

$$s(\xi) = \frac{\sum_{i=1}^m [H(\xi)_{i,j} - \bar{H}(\xi)_j][H(\xi)_{i,0} - \bar{H}(\xi)_0]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [H(\xi)_{i,j} - \bar{H}(\xi)_j]^2 \sum_{i=1}^m [H(\xi)_{i,0} - \bar{H}(\xi)_0]^2}} \quad \begin{pmatrix} \xi = 1, 2, \dots, 6 \\ n = 6 \\ j = 1, 2, \dots, 33 \\ m = 18 \end{pmatrix}$$

$$\bar{H}(\xi)_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H(\xi)_{i,j}$$

$$\bar{H}(\xi)_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H(\xi)_{i,0}$$

以上各式中, 下标 j 为历史样本序, 下标 0 为预报样本。下标 i 为每一纬圈或经带(由于每一经圈上的格点数较少, 将连续三个经圈 18 个格点划为一个经带)上的格点序。 $n=6$ 为纬圈与经带总数。 r 取 1, 2, 3, 分别代表从预报时段前伸一候, 当旬及后延一候的组别。 l 取 1, 2, 分别表示预报时段(或预报样本, 或相似样本)的前一候与第一候。

显然, 第一相似区域内两样本的环流相似指数 $C^{(r,l)}$ 与区域内纬向环流特征相似程度 \bar{S}_z 及经向环流特征相似程度 \bar{S}_m 成正比, 与高度场间距离 $D_{j,0}$ 成反比。连续两个候环流特征相似, 表明了两样本环流特征在时间演变上的相似, 此即为样本的第一(环流特征演变)相似。

比较两样本的典型场分布相似时, 把样本在第二相似区域内 500 hPa 候平均高度场 $H(x, y)$ 在 $x-y$ 空间, 按车贝雪夫(Чебышев)多项式展开:

$$H(x, y) = \sum_{k=0}^P \sum_{s=0}^Q A_{k,s} \Psi_k(x) \Psi_s(y) \quad \begin{pmatrix} P=6 \\ Q=6 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, 分解(权重)系数 $A_{k,s}$ 为:

$$A_{k,s} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n H(x, y) \Psi_k(x) \Psi_s(y)}{\sum_{x=1}^m \Psi_k^2(x) \sum_{y=1}^n \Psi_s^2(y)} \quad \begin{pmatrix} m=9 \\ n=9 \end{pmatrix}$$

当 η 为 x 或 y , N 为 m 或 n , μ 为 k 或 s 时, 车贝雪夫多项式 $\Psi_\mu(\eta)$ 为:

$$\begin{aligned} \Psi_0(\eta) &= 1 \\ \Psi_1(\eta) &= \eta - \frac{N+1}{2} \\ \Psi_2(\eta) &= \Psi_1^2(\eta) - \frac{N^2-1}{12} \\ &\dots\dots \\ \Psi_{\mu+1}(\eta) &= \Psi_1(\eta) \Psi_\mu(\eta) - \frac{\mu^2(N^2-\mu^2)}{4(\mu^2-1)} \Psi_{\mu-1}(\eta) \end{aligned}$$

应用车贝雪夫多项式展开气象要素场具有收敛快, 稳定性好(不随时间变化)的特点, 并已推广到不规则格点分布的气象要素场^[1,2]。本方案中, 取经纬网格点数 $m=n=9$, 格点呈不规则菱形分布。分解截止阶数 $P=Q=6$, 取展开式(1)前 49 项之和逼近时, 逼近误差与总方差之比已小于 10^{-4} 。对于 49 个仅与高度场空间分布有关的典型场 $\Psi_k(x) \Psi_s(y)$ ($k=0, 1, \dots, 6; s=0, 1, \dots, 6$), 其权重系数 $A_{k,s}$ 是样本的

函数。

当样本数为 T 时, 定义区域典型场相似指数 $F_{j,0}^{(r,l)}$:

$$F_{j,0}^{(r,l)} = |A_{0,0,j}^{(r,l)} - A_{0,0,0}^{(r,l)}| \sqrt{\sum_{k=0}^P \sum_{s=0}^Q [A_{k,s,j}^{(r,l)} - A_{k,s,0}^{(r,l)}]^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r = 1, 2, 3 \\ l = 1, 2 \\ j = 1, 2, \dots, T \\ P = 6 \\ Q = 6 \\ k, s \text{ 不同时为 } 0 \end{array} \right.$$

式中, 上标 r, l , 下标 $j, 0$ 意义同前。

$A_{0,0,0}$ 及 $A_{0,0,j}$ 分别为预报样本与历史样本在 $k=s=0$ 时的 0 阶分解系数, 典型场 $\Psi_0(x)\Psi_0(y)$ 为区域高度平均场即背景状况。考虑 $A_{0,0,0}$ 及 $A_{0,0,j}$ 比其它高阶分解系数 $A_{k,s,0}$ 及 $A_{k,s,j}$ 大 1—3 个量级, 为避免背景对高阶典型场的“淹没”, 将其绝对距离从其它阶次分解系数的距离系数中抽出, 作为样本的权重因子。

显然, 预报样本与历史样本的各阶典型场分解系数越接近, 它们就越相似, 其相似程度与典型场相似指数 $F_{j,0}^{(r,l)}$ 成反比。连续两个候的典型场分布相似, 意味着区域内场分布在时间演变上的相似, 此即样本的第二(典型场分布变化)相似。

综合考虑环流形势演变与典型场分布变化相似, 定义综合相似指数 $I_{j,0}^{(r)}$:

$$I_{j,0}^{(r)} = \frac{C_{j,0}^{(r,1)} C_{j,0}^{(r,2)}}{F_{j,0}^{(r,1)} F_{j,0}^{(r,2)}}$$

两个样本的相似程度与 $I_{j,0}^{(r)}$ 成正比。本方案以 $I_{j,0}^{(r)}$ 为预报样本与历史样本相似程度的最终判据。

3. 预报模式及其应用

天气相似预报在传统上一般取同旬或同候的同期样本相似, 以期得到相同的季节背景。然而天文历法划分的旬(10天)与天气过程的时段往往不一致, 一次旬天气过程从一句延续到下一句的情况屡见不鲜。这样, 同期相似难免人为地割断一次连续天气过程, 从而影响预报效果。

一个候与中期天气过程的时间尺度相当。本方案引入一个同期邻域的概念, 它定义从某一候序前伸一候至其后延一候的时间范围为该候的同期邻域。对于候序为 $L, L+1$ 连续两候的预报样本, 将在同期邻域 $L-1-L$ (前伸一候), $L-L+1$ (当旬)及 $L+1-L+2$ (后延一候) 三组的所有历史样本中按相似判据寻找相似样本。

本方案在用电子计算机检索相似样本时, 为了减少计算工作量, 采用以下程序进行:

- 1) 计算预报样本与上述三组历史样本的环流相似指数, 找出连续两候 $C_{j,0}^{(r,1)}$ 与 $C_{j,0}^{(r,2)}$ 均排在样本序列前若干位的 T 个第一相似样本^[3]。
- 2) 对满足第一相似的 T 个样本, 计算典型场相似指数与综合相似指数 $I_{j,0}^{(r)}$, 并找到 $I_{j,0}^{(r)}$ 最大的一组相似样本。
- 3) 以相似样本对应的 10 天天气过程为相似

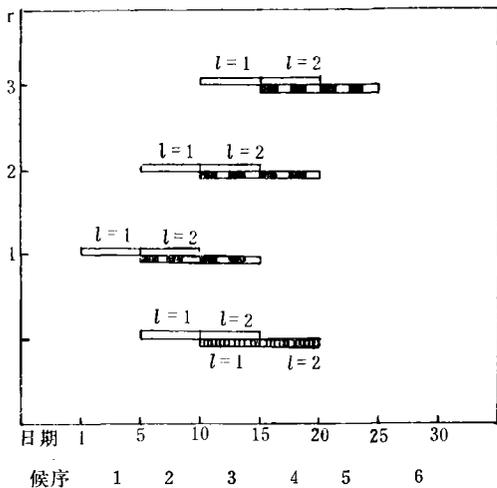


图 1 预报时段(某月中旬), 预报样本, 相似样本与相似天气过程的时段分布

(图中横坐标为时间。纵坐标 $r=1, 2, 3$ 表示同期邻域的三个组序。阴影长条表预报时段, 黑白相间长条表相似过程, 白长条表预报样本或相似样本, $l=1, 2$ 表候序)

天气过程,并据此制作旬天气过程预报及旬要素预报。预报时段,预报样本,相似样本,及相似过程的时段分布如图1。

图2为预报样本与相似样本的比较。1988年6月中旬(11—20日)的天气预报,其预报样本为6月2—3候(6—15日),相似样本为1957年6月3—4候(11—20日),相似天气过程为1957年6月16—25日。图中可见相似样本与预报样本的环流形势演变基本相似:中高纬欧洲中部阻塞高压崩溃,沿 30° — 40° E低槽加深,乌拉尔山高压发展,亚洲地区东部雅库茨克—鄂霍茨克阻高发展诸形势均很相近;低纬地区的相似程度虽比中高纬稍差一些,但西太平洋副热带高压脊线明显北抬过程在两样本中仍非常相似。这种形势表明梅雨形势^[4]正在逐步建立并将稳定。根据相似天气过程预报1988年将在6月15日前后入梅,此后有明显的全省性大到暴雨天气过程,出现的实况与预报基本一致。

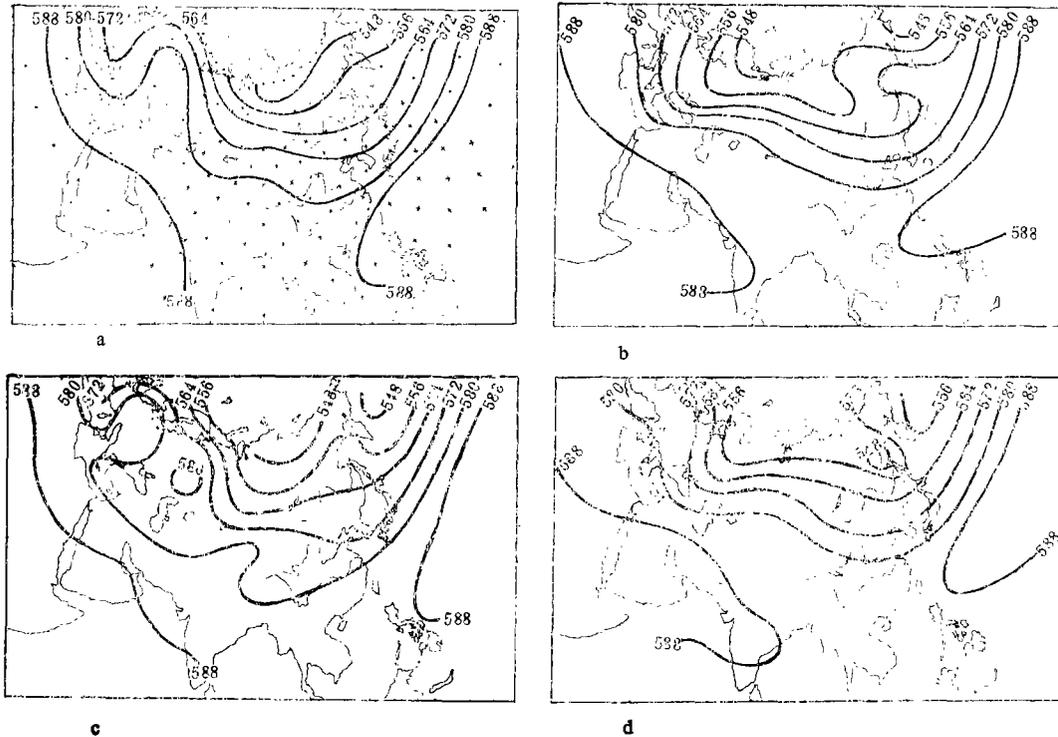


图2 预报样本与相似样本500 hPa候平均高度场

(a 1988年6月第2候(预报), b 1988年6月第3候(预报), c 1957年6月第3候, d 1957年6月第4候;

a中72个圆点和36个“×”组成第一相似区域,45个“+”和36个“×”组成第二相似区域)

本方案已于1987年在浙江省气象台投入业务使用,制作全省6个代表站¹⁾的旬天气预报。对1986年1月至1987年6月54个旬的历史资料进行试验的拟合结果评分和对1987年7月至1989年6月72个旬预报结果评分如表1。

虽然在大多数情况下,相似样本与预报样本在环流形势演变上都相当接近,但方案的拟合结果评分表明形势相似并不意味着天气过程的完全相似,因环流与天气之间关系毕竟是十分复杂的。实际的预报结果较拟合结果略有下降,这主要是由于实际预报时用的是数值预报输出产品,与实况仍有误差。但我们可见,预报结果评分比主观预报提高了5—10分(要素预报准确率)和10—13分(过程预报技巧),尤

1) 杭州、嘉兴、宁波、金华、丽水和温州等六站。

表 1 方案的拟合结果与预报结果评分*

评分类别	项目	预报准确率				预报技巧			
		旬总雨量	旬总雨日	旬平均气温	旬极端气温	一般性降水	暴雨	极端气温	强冷空气
拟合(54旬)		84	80	83	78	62	50	61	57
预报(72旬)		80	75	78	76	56	45	56	53
主观预报(72旬)		74	70	73	66	46	32	44	41

* 依据1987年7月国家气象局制定的“重要天气预报质量评定办法”进行评分。

其是与环流调整密切相关的暴雨、强冷空气等天气过程的预报技巧提高较多。同期邻域相似在时段和样本的拓宽,使极端气温的预报有明显改善。

4. 结论

1) 旬天气客观相似预报方案考虑了连续两候的 500 hPa 候平均场相似,从而兼顾了相似样本与预报样本在预报时段内环流形势的静态相似及其在中期过程中的动态演变相似,有利于吻合天气过程的连续变化。

2) 综合相似指数既考虑了两样本大范围的中期环流形势在纬向与经向上的相似及空间性质的相近,又兼顾了中、低纬局部典型场分布在变化上的相似,从而保证了相似样本与预报样本在较大区域范围内的客观相似。因此本方案不仅适用一个省的较小区域,也适用于两个相似区域交迭的广大地区。

3) 同期邻域相似比同期相似更多地考虑了天气过程的连续性,从而更符合天气过程的自然变化特点,同时还使相似过程的时段范围拓宽了一倍,历史样本数增加了两倍,不仅有利于在预报时段邻域内找到较佳的相似过程,而且提高了预报天气极端情况与异常变化的能力。

4) 由于低纬高度场数值空间变化小,虽然本方案采用了分纬圈求相似,中低纬典型场分布变化相似等途径以加大低纬地区信息的权重,但由于中低纬高度场变化远较高纬地区小,相似指数中包含高纬地区信息权重显然要大一些。因此本方案应用于北方地区的预报效果比南部地区要好一些。

5) 合成预报样本所应用的资料信息大半为中期数值预报输出产品,该产品的精度对本方案影响较大,其预报误差是影响本方案预报准确率的重要因素。

6) 受目前中期数值预报时效的限制,本方案在预报时段的两候中只考虑了第一候的相似,第二候预报信息的空缺,不能不对本方案的预报结果产生影响。

参 考 文 献

- [1] 周家骥, 不规则点上车贝雪夫多项式展开问题, 科学通报, 26, 548—550, 1981; 大气科学, 7, 239—248, 1983。
- [2] 周家骥、李黄, 关于不规则格点上 чебышев 多项式展开问题的进一步研究, 中国科学, B 辑, 861—873, 1984。
- [3] 钟元、李秀莉、姚嘉玲、朱美娜, 中期天气客观相似预报方法, 气象, 14, 4, 8—11, 1988。
- [4] 仇永炎, 中期天气预报, 294—299, 科学出版社, 1985。

AN OBJECTIVE ANALOGUE SCHEME FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECAST

Zhong Yuan, Zhu Ronglin

(Zhejiang Research Institute of Meteorological Science)

Abstract

An objective analogue scheme for medium-range (a period of ten days) weather forecast is developed. Using the late information of objective analysis and medium-range numerical prediction products and objective analogue criterion, an analogue process by which the weather forecast in a period of 10 days will be made in 500hPa evolution of circulation and variation of canonical field from adjacent past data is found by computer. The forecasting results indicated that this scheme is efficacious.