

MOS 预报业务化试验中若干 技术问题的处理

李法然 杨育强 汤兆焘 黄玲琳*

(湖州市气象台 MOS试验组)

一、前言

随着数值预报的发展及输出产品的增加, MOS 预报试验研究不断的深入并应用于业务预报上。近年来, 我们也积极进行了 MOS 预报业务化的尝试。实践中我们体会到, MOS 预报必须符合简便、迅速、准确的原则, 才能在预报第一线站住脚, 否则这种方法再好也只能成为墙上的画, 镜中的花。为此, 我们对预报对象、因子的选取进行了必要的技术处理, 并在实际应用中取得了较好的效果。

二、建立预报模式时的技术处理

1. y 量的处理

在进行晴雨预报时, 一般将雨量 y 作 0, 1 化处理, 晴天取 0, 雨天取 1。我们假设 y 随因子 x 线性单调地变化, 当 x 小于某一数值时, y 始终是 0; 一旦 x 超某一临界值, y 明显地随 x 而变化。 y 由恒为 0 突变到随 x 变化的现象, 反映了这两段具有不同的函数关系。

晴天的降水量为 0, 雨量为 0.0mm 的

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \Delta y \Delta x + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \Delta y \Delta x + \sum_{i=n_2+1}^n \Delta y \Delta x}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta y)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta x)^2}}$$

式中 $\Delta x = (x_i - \bar{x})$, $\Delta y = (y_i - \bar{y})$, $1, 2, \dots$
 n_1 为 $y_i = 0$ 时的样本序号, $n_1 + 1, n_1 + 2,$
 $\dots, n_2$ 为 $y_i = 0.0$ 的样本序号, $n_2 + 1, n_2 + 2, \dots, n$ 为 $y_i \geq 0.1$ 的样本序号。

当一组预报量和因子确定后, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 也

微量降水从数量上描述仍然是 0, 而雨天可以从 0.0mm 一直到很大。这就是说晴天的每个样本在预报对象的总体中是等权的, 都是 0; 雨日样本则相当离散, 它们在预报量总体中的权重也各不相同。图 1 为 1982—1984 年 5 月份 93 个样本 12 小时晴雨日样本数分布图。由图可见, 晴天天数要比降水的总天数还多, 而且雨日各样本的量级差值很大, 分布十分离散。因此求相关系数时, 在两个不同的函数段内, 其对相关系数贡献也明显不同, 这时相关系数为:

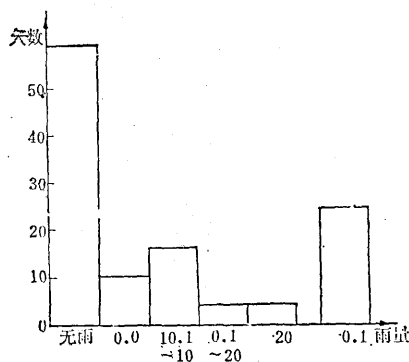


图1 1982—1984年5月93个样本12小时降水量各量级分布状况直方图

即为常数, 因而 R_{xy} 完全由 x_i 在全体样本中分布的离散度决定, 另外也决定于 $y_i > 0$ 时, y_i 对其数学期望的偏离度。这就使所

* 本文由李法然执笔, 吴振琦同志参加了部分工作。

求得的相关系数 R_{xy} 只随部分 y_i ($i = n_2 + 1, n_2 + 2, \dots, n$) 而变化, 在总体样本中很不协调, 也引起计算结果不稳定, 难以揭示本质的内在联系。

在晴雨预报中, 将预报对象作 0.1 化处理时, 我们考虑到对于 0.0mm 的降水日, 其因子特征和环流背景都介于晴、雨两者之间。试验结果表明, 就大部分因子的变化状况看, 微量降水日的环流特征与晴天更为接近, 因而把降水量为 0.0mm 的样本取为 0.4, 即略偏于晴天一侧, 这样更接近于实际情况。

从相关普查也可看出, 当 y_i 在三种情况下, 取三个变化不大的量参加运算时, 雨日和晴天一样在 R_{xy} 中的贡献各段都接近是等权的, 从而获得了大量与晴雨关系密切的好因子。若把实况雨量直接输入, 一般单相关系数只在 0.25 以下; 而作了 0, 1 化处理后, 初选入的因子相关系数一般都在 0.4 以上, 最高的可达 0.6—0.7, 可明显看到对 y 量作技术处理的必要性。

晴雨天拟合处理中, 对微量降水日我们作了对比试验, 一组同样因子所组成的方程, 当把雨量为 0.0mm 样本作雨日处理, 拟合率为 85.0%, 作无雨处理时拟合率为 92.5%。

在作降水量级预报时, 我们采用了舍去晴天样本的办法。晴天时 y 与 x 并不存在依存关系, 在总体中这些称为呆滞样本。且晴天样本最大, 在分出晴、雨两级的基础上进行降水量级预报时, 晴天样本对雨量预报并无意义, 而求取平均值及相关计算中反而使总体失调, 晴天样本数在总体中成了突出值。若抽掉晴天样本, 留下反映降水特征的样本, 可使量级计算更稳定。

将晴天样本抽掉后, 降水日单独组合成一个预报量集合, 再把降水量分作 1, 2, 3 级, 分别代表小雨, 中雨, 大—暴雨, 相应的雨量为 0.0—10.0mm, 10.1—20.0mm, 大于 20.0mm。这时所选取的因子, 在环流性质上首先必须符合降水的形势。另外在不同量级的样本中, 因子只反映量的差别, 而不再反映天气性质的差别。在雨天集内, 各种

降水量样本协调, 函数连续, 建模时概括了所有降水样本的环流特征, 减少信息损失, 在量级方程中有利选取最佳因子和最佳方案。建模中这种技术处理提高了计算稳定性, 保证了模式拟合率和预报准确率的一致性。

2. 因子的预处理

在概率统计预报中, 提高预报准确率的关键, 是因子的处理和选取。统计学本身就限制了可选进方程中的因子数目, 而地面气象要素的变化又受到各种不同尺度的天气系统综合影响。从空间到时间, 四维变量对要素都有着相当密切的联系。这又要求我们尽可能建立反映多种尺度和四维变量特征的模式。这些需要与可能之间的矛盾, 就更显示出了因子预处理及精选的必要性。因而根据因子的不同特点, 我们采取了四种技术处理办法。

(1) 因子的线性组合

实践告诉我们, 单点因子偶然性较大, 不能稳定地反映天气形势。为保证预报稳定, 就必须寻找反映天气形势与地面要素规律性的稳定因子。为此, 根据天气动力学理论及预报员的实践经验, 对因子资料进行线性组合。

图 2 为一网格的分布图, 我们把各点预告值读取后, 作线性组合。思路如下:

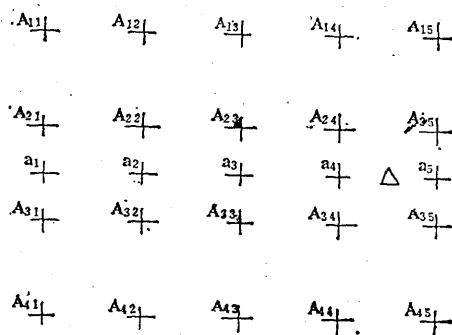


图2 网格点分布图

A_{11} 大网格点 a_{11} 小网格点 Δ 本市所在位置

a. 把沿海某一区域的平均值减去高原东侧华西的某些格点的平均值, 尤其是高度场, 反映环流背景东高西低还是西高东低。

$$\text{如 } [(H_{25} + H_{35}) - (H_{21} + H_{31})] / 2$$

b. 用某一区域或一行上的格点总和来

反映未来某一主要环流系统的强度变化。

如根据副高指数的求取方法, 将($H_{34} + H_{35} + H_{45}$) 来表征副高的强度变化。

c. 将高度场转换成风场因子参加运算。

地转风公式 $V_g = \frac{9.8}{f} \left(\frac{\Delta H}{\Delta n} \right)$, 式中 $f = 2\omega \sin \phi$,

Δn 为等高线法向截距, 本文则为格距, 一旦纬度和格距确定后, 风力大小就取决于高度场水平梯度 ΔH 。

我们用 $H_{12} - H_{21}$ 反映北支气流的强度, 用 $H_{32} - H_{43}$ 和 $H_{33} - H_{44}$ 表示南支气流的强弱。用 $H_{35} - H_{42}$ 表示是否有西南槽存在, 对我区的平流效应。

d. 有些组合因子是专用于分析系统动态的。如 $\frac{\partial \zeta}{\partial y}$ 反映涡度的南北向梯度, 用 $(\zeta_{21} + \zeta_{22} + \zeta_{23}) - (\zeta_{31} + \zeta_{32} + \zeta_{33})$ 表示沿长江两侧的差值大小。强降水及对流性天气一般都发生于物理量梯度最大的地方。当上游涡度梯度增强时, 未来我市可能有明显降水, 且与雨量量级关系密切。

(2) 曲线回归处理

某些因子当地面天气要素并不遵从线性函数的统计关系, 而是某种非线性的统计关系。我们根据数值产品的输出资料, 进行了曲线回归处理, 然后对部分非线性因子再次进行符合物理意义的线性组合。

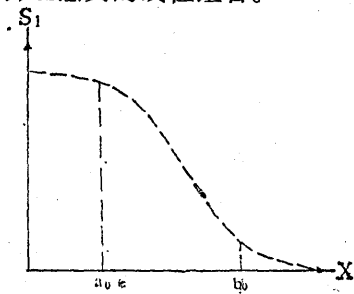


图3 $S_1(x)$ 函数曲线图

图3为 $S_1 = K/[a + \exp(bx)]$ 的函数曲线 (其中 a, b 大于零), 由图明显看出, 当 $x < a_0$ 或 $x > b_0$ 时, $S_1(x)$ 向两端某一值逼近, 为两个麻木区, 当 $a_0 \leq x \leq b_0$ 时, $S_1(x)$ 为一敏感函数, 这一区域为敏感区。有些物理量与天气要素之间的关系正好也反映这类函数关系。如垂直速度 $\omega > 0$ 时, 大气层为一下沉气流, 不可能有降水。当 $\omega < -10 \text{ hPa}$

$\cdot \text{s}^{-1}$ 时, 雨量并不随上升运动继续加大而无限加大, 到了某一极限雨量后, 即使上升运动再增大, 雨量也不会超过这一极限值, 也就是 ω 值对雨量的贡献只在某一区间有效。因而以 S_1 函数对 ω 变换后, 与降水量的相关系数明显提高。当 $-10 \leq \omega < 0$ 时, 对降水的敏感性很大, 不仅统计关系显著, 而且天气物理意义明确。

又如涡度的格点值, 人们普遍认为, 从个例分析定性地讨论天气意义时, 正涡度的大小对降水量有直接关系, 负涡度条件下不会发生降水。然而真正要找几个涡度的定量指标用于降水预报却十分困难, 普遍认为涡度难以用于 MOS 预报。我们用函数 $S_2 = K/[a + \exp(-bx)]$ 对涡度变换后, 发现 $S_2(x)$ 也同样存在着一对天气要素的敏感区 $[a_0, b_0]$ (见图4), 即涡度值处于某一变化范

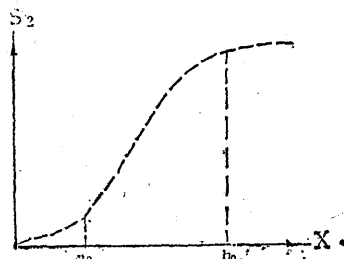


图4 $S_2(x)$ 函数曲线图

围内, 才对降水量有明显的影。这种定量函数十分符合涡度与降水量的关系。经 S_2 函数变换后, 涡度与雨量之间的单相关系数由 0.26 上升到 0.56。在回归计算时这些曲线因子入选的机会也大大多于线性因子。

实践中, 除了前面 S_1 和 S_2 函数形式外, $S = \exp(x)$ 和 $S = \arctan(x)$ 两种函数关系被选进的也较多, 它们都揭示了大气环流与地面要素之间存在着麻木区和敏感区的事实, 反映了物理本质, 因此预报效果较好。

(3) 实时资料与数值预报资料结合

由于数值模式自身误差, 目前的数值产品还不可能完全准确。在预报产品中, 缺少中、高层风场预告值, 850hPa 的风力预报与实况偏差太大, 这些误差的累积结果, 使 MOS 预报准确率难以令人满意, 尤其对降水量级预报效果更差。为此, 我们认为误差弥补必须使模式摆脱对数值产品的依赖性。现

有的数值预报产品里,反映动力学特征的物理量很多,但反映热力学及水汽特征的资料则很少,因此要报好降水,尤其是雨量量级预报,就应将实时资料和数值预报资料有机结合。

根据国内部分指标站高空资料,我们计算了以下几个物理量。

- a. 各站的K指数、A指数及强对流指数。
- b. 水汽压、比湿、饱和水汽压及饱和比湿。
- c. 湿静力能量、动能、总能量及饱和湿静力能量。
- d. 水汽通量、内能通量等。
- e. 饱和状态和实际的水汽及能量,各物理量之差。

并计算了上述物理量的24小时变量及向本市的输送分量。

我们认为本市的降水量跟上游站的水汽能量大小固然有关,但起决定性作用的是未来本市上空受到影响如何,另外还与风向即输送方向有关。过去在历史资料分析中,曾将风场 u, v 分量坐标逆转 45° 处理,以此为 u', v' 坐标系统。这样当西风急流形成时,上游的水汽和能量沿着 u' 分量坐标输送,对我市降水影响最大。由此我们以我市为坐标中心把周围各站的物理量要素都能投影到向本站输送的自然坐标上。如图5所示,以本市为中心,分别以安庆、汉口、恩施、成都为半径画四个同心圆,连接各指标站与本站的连线,测量各站的坐标偏转角,以经典的风向坐标为参考系即沿经线向北为 0° ,向南为 180° ,沿纬线向东为 90° ,向西为 270° ,我们定 β_j 为各站偏转角, α_{ij} 为每次观测的各站风向,使物理量A投影到圆周法线方向,组成定向通量因子

$$\phi_{ij} = A \cdot \cos(\alpha_{ij} - \beta_j) \cdot V_{ij}$$

式中 i 表示样本序号, j 表示指标站序号, V_{ij} 为风速。

从动力学概念出发,我们又对三层贡献值进行积分,再沿圆周积分,这样就能计算出水平方向四个同心圆柱内水汽、能量的总收支,再求取24小时的变量和未来24小时的估计值。

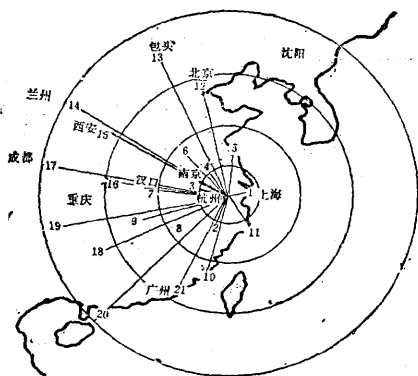


图5 国内部分指标站分布
中心点为潮州市

用这一系列值作为待选因子参加相关初选,所建立的模式不仅可以摆脱数值产品制约,所选进的因子又体现了数值产品的优点和长处,同时在降水量级预报中,也显示了更大的预报优越性。

(4) 输入地面观测资料

用网格点资料和指标站的高空资料,只能反映大尺度的环流特征,却难以反映中、小尺度天气系统的影响。经验告诉我们,本站要素在天气急剧变化时反映显著,特别是湿静力能量对强降水和对流性天气具有较好的指示作用。因此,我们把地面观测的气压(P)、温度(T)、水汽压(e)的数据输入计算机内并计算

$$a. \Delta e_{24} - \Delta T_{24}$$

$$b. \Delta e_{24} + \Delta T_{24} - \Delta P_{24}$$

$$c. \text{地面湿静力能量 } T_\sigma = T + \frac{L}{C_p} q$$

$$d. T - e$$

同时计算了上述各物理量的每6小时、12小时和24小时变量。

三、模式的建立及结果检验

作了上述处理后,待选的因子就相当丰富了,它们几乎反映了层结稳定度、平流输送效应、环流的未来动向、上、下游波动传递效应、各种尺度天气系统以及时间的综合作用。在作因子粗选和精选、建模三步运算中,工作量虽然很大,但结果是令人满意的。图6为建立MOS预报模式流程图。

从1985年3月份春播期间MOS预报投入业务应用以来,一直是我们的必不可少

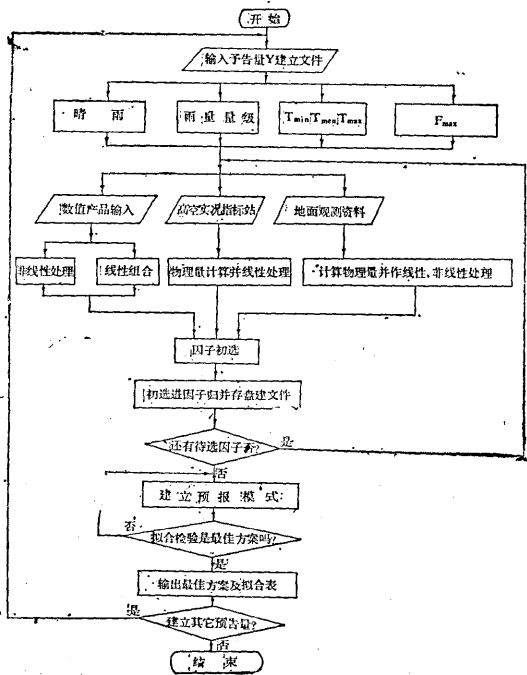


图6 MOS 预报模式流程图

报工具，这充分显示了MOS预报的准确性和客观性。使用效果见附表。其中3月份因未建量级预报模式故未评定。

附表 1985年MOS预报结果

月份	项目	12h		24h		36h		48h	
		CSI	PC	CSI	PC	CSI	PC	CSI	PC
3	晴雨	0.65	83.3	0.56	73.3	0.56	73.3	0.46	70
4	晴雨	0.64	86.7	0.46	83.3	0.50	80	0.40	83.3
	量级	0.62	86.7	0.42	83.3	0.41	74.7	0.40	83.3
5	晴雨	0.58	87	0.50	84	0.63	87	0.44	74
	量级	0.54	72	0.47	80	0.59	85	0.41	66
6	晴雨	0.71	86	0.82	93	0.69	79	0.54	79
	量级	0.68	80	0.79	86	0.68	77	0.52	77

注：CSI—降水预报成功界限指数 PC—预报准确率(%)

科学出版社部分存书简目

为解决一些气象台站买书难的问题，现将科学出版社部分存书简目刊登如下。需购买者请通过邮局或银行，将书款寄给北京朝内大街137号科学出版社三室（加收5%邮寄费）。开户银行：北京工商

银行东四分理处。帐号：4601184。

云物理学（英）B. J. 梅森著 2.60元

动力气象学引论（英）J. R. 霍尔顿著
（精）3.20元
（平）2.50元

动力气象学引论习题解 田永祥著 0.85元

夏半年青藏高原500毫巴低涡切变线的研究

青藏高原气象组著 1.30元

长期天气过程的研究 中科院大气所编 2.70元

微气象学（美）D. A. 蒙根著 2.40元

日冕膨胀和太阳风（美）A. J. 亨德豪林著
2.00元

大气和海洋（英）J. G. 哈维著 1.15元

大气臭氧研究 王贵勤等译 3.90元

大气超长期过程的性质（苏）W. A. 穆莎那梁
著 1.10元

大气气溶胶（澳）S. 图梅等著 2.10元

中尺度气象过程非线性理论引论 曲延禄译
0.95元

冰雹云雷达回波图集 2.15元

冰雹概论 雷雨顺等著 1.45元

海洋—大气系统 A. H. 佩里著 1.80元

气候统计学基础 么枕生著 3.50元

气候的物理基础及其模拟 曹鸿兴等译 2.30元

数值天气预报 张玉玲等 4.50元

初边值问题差分方法及绕流 朱幼兰等

（精）3.25元

（平）2.40元

模拟行星边界的分析方法 王跃山等译 1.10元

英汉气象学词汇 1.80元

中期天气预报 7.30元

物候学与季节性模式的建立（美）H. 利恩
2.75元

作物微气象学：模拟研究（荷）J. 高德力安
1.85元

大气污染物分析（奥）W. 莱特 1.40元

竺可桢文集（特装） 6.55元

环境科学技术导论（美）G. M. 马斯特 3.70元

大气扩散和烟气抬升规律的研究 2.20元

中国云图 52.00元

人工影响天气和气候 8.70元

人工影响对流云降水研究 0.85元

人工影响天气的统计数学方法 1.90元

激光探测大气 4.10元

气象雷达回波信息原理 2.85元

大气动力学原理 2.35元