

城市相对湿度的直接模式 输出修正预报的研制

夏建国 陈爱琴

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

给出了一种非统计的直接模式输出(DMO)的修正预报方法,它无需任何历史资料(包括数值预报资料及观测资料),仅以我国国家气象中心实时 T106 模式的离地 2m 之相对湿度预报格点值($1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 经纬度)为基础,经非线性插值、部分系统性误差订正及相对湿度的日较差修正后制作全国 264 个城市的相对湿度预报。其中北京、上海、香港等 10 个城市的相对湿度预报经预报员把关后,每天晚间由中央电视台播出。

关键词: 相对湿度 直接模式输出 修正预报

前 言

自 1958 年我国天气预报向社会各界公开发布(开始为广播,后来加上电视)至 1996 年 6 月 20 日,其预报要素通常是温度(最高、最低)、天气现象、云况和风向风力,没有向公众发布过相对湿度预报。

1995 年 11 月国家气象中心根据人大代表关于电视天气预报中增添相对湿度预报的提案以及为了适应社会生产与人民生活的需要,决定迅速研制以数值预报产品为基础的城市相对湿度预报。1995 年 12 月 15 日以来,国家气象中心在巨型计算机 Cray 系统上制作全国 264(自 1997 年 5 月起为 414)个城市(含港、澳、台北)的相对湿度的准业务预报,1996 年 6 月 1 日正式投入业务运行。经中国气象局天气司批准,从 1996 年 6 月 20 日起,北京、上海、香港等 10 个重点城市的相对湿度的预报由预报员把关后,由中央电视台向全国播出。

1 由格点到城市的非线性插值

本方案使用的是我国国家气象中心新一代中期数值模式(T106)实时输出的离地 2m 的相对湿度预报格点值(2m-RH,下同),预报初始时间为 12 时(世界时,下同),预报时效为 0—168 小时(即 0—7 天),每 12 小时有一次预报输出。这样我们可得到当天 12 时,次日 00 时、12 时,……,第 7 天 00 时、12 时的数值预报格点值,用于制作全国 264 个城市 1—7 天,每天两次(18 时及 06 时)相对湿度预报。由于直接模式输出的相对湿度预报是在经纬网格的格点上,必须采用插值方法将模式格点值插值至 264 个城市的位置上。本文采用的是非线性(二维二次)插值方法,简述如下:

首先进行 X 方向的二次插值,设在 X 轴上有 4 个点,它们是 X_{-1}, X_0, X_1, X_2 (如附图 a 所示)。其中 X 是该城市在 X 方向的位置,相邻格点的距离为 ΔX , dx 是 X 与 X_0 之间

的距离, $\Delta X - dx$ 是 X 与 X_1 之间的距离, 于是

$$X - X_0 = dx$$

令 $\Delta X = 1$ 个格距

$$X_1 - X = \Delta X - dx = 1 - dx$$

$$X - X_1 = dx - 1$$

根据牛顿插值公式, 用于上述 X 点的插值公式为:

$$\begin{aligned} f(x) = & f(x_0) + [f(x_1) - f(x_0)]dx \\ & + \frac{[f(x_2) - f(x_0) - f(x_1) + f(x_{-1})]}{2} \\ & \cdot \frac{dx(dx-1)}{2!} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $f(x)$ 为 X 点经插值后的数值预报值, $f(x_{-1}), f(x_0), f(x_1)$ 及 $f(x_2)$ 分别为 4 个格点 X_{-1}, X_0, X_1 及 X_2 的数值预报值。

对每个城市先按上述公式在 X 方向作非线性插值, 并在 4 个 X 方向的数轴上进行, 这 4 个数轴在 Y 方向的坐标分别为: Y_{-1}, Y_0, Y_1 及 Y_2 。

经上述插值后, 可得到 4 个新点的值, 这 4 个新点之 X 坐标都等于该城市的 X 坐标, 它们的 Y 坐标分别为: $-1, 0, 1$ 及 2 。连接这 4 个点, 可得到一个新轴 (见附图 b), 然后将上述式 (1) 中的 x 换为 y , 可得算式 (2),

$$\begin{aligned} f(y) = & f(y_0) + [f(y_1) - f(y_0)]dy \\ & + \frac{[f(y_2) - f(y_0) - f(y_1) + f(y_{-1})]}{2} \\ & \cdot \frac{dy(dy-1)}{2!} \end{aligned} \quad (2)$$

与 X 方向的二次插值相类似, 将经 X 方向插值后得到的 4 个新点的数值预报值按 Y 方向的坐标位置分别代入式 (2), 即可完成该城市的二维二次插值。非线性插值与线性插值相比, 具有更高的精度, 它不仅考虑了测站周围 4 个格点的状态, 而且考虑了 4 个格点外围 12 个点的要素梯度对该地的影响。例如在湿舌两侧, 非线性插值与线性插值得到的

城市相对湿度, 有时可相差 20%。

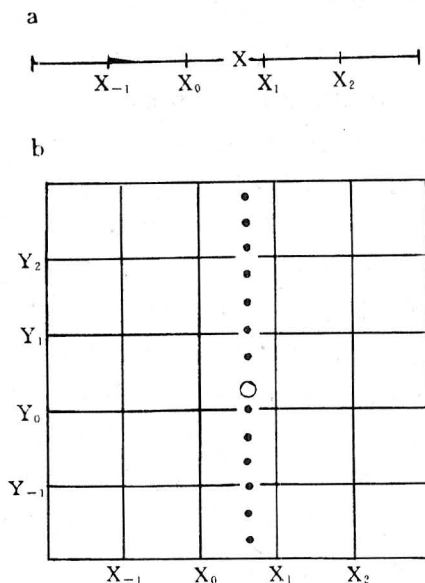
2 系统性误差修正

在完成了所需城市的非线性插值后, 为了部分消除模式的初值与测站观测值之间的系统性误差 (ERR), 我们使用了最新观测资料, 下列式 (3) 与 (4) 可以描述这种情况,

$$F'_t = F_t - ERR \quad (3)$$

$$ERR = F_{t_0} - OBS_{t_0} \quad (4)$$

其中, F'_t 为经系统误差修正的 t 时刻城市相对湿度预报值; F_t 为未经系统误差修正的 t 时刻城市相对湿度预报值; F_{t_0} 为城市相对湿度的模式初值; ERR 为待修正的、模式初始状态的系统性误差; OBS_{t_0} 为初始时刻由天气观测报告求得的城市相对湿度值。



附图

a. X 方向的一维二次插值,

X 为插值点在 X 方向的位置

b. 二维二次插值, O 为插值点的位置,

……为经 X 方向插值后构成的新轴

将式 (3)、(4) 合并, 即可得算式 (5):

$$F'_t = F_t - F_{t_0} + OBS_{t_0} \quad (5)$$

算式 (5) 右端的前两项构成了由模式提供的预报终止时刻与初始时刻的预报值增

量,第三项为基于实时观测的相对湿度值。只要将预报终止时刻、初始时刻的直接模式输出的相对湿度值及基于实测的相对湿度值代入式(5),即可求得预报终止时刻的相对湿度预报。

由于模式的初始时间为世界时12时(即北京时间20时),故无论模式提供以24小时间隔或12小时间隔的2m相对湿度预报值,都报不出明显的相对湿度的日较差。在采用式(5)对直接模式输出的相对湿度预报作系统性误差修正后,预报的日较差有所改进,但由起报日的观测资料求得的相对湿度的日较差将被持续下去,这在同一气团内且天气与天空状况类似的情况下,误差不会很大,否则,相对湿度的预报误差可能达到30%或更大。因此,有必要作相对湿度预报的日较差修正。

3 相对湿度预报的日较差修正

通常影响相对湿度的变量有三项:气压、气温和比湿,由于气压的变率与后两项相比要小得多,故主要考虑气温和比湿的状态与变化。在进行系统性误差修正时使用了起报日当天的观测资料,相对湿度的日变化除了由比湿的变化引起之外,主要是由湿度的日变化引起的。在预报时段内气团、温度平流、云况、降水和风如有明显变化时,预报终止日那天的温度日变化必然与起报日当天的温度日变化有较大差异,相应地相对湿度的日变化也会产生较大差异。

城市(站点)相对湿度的观测值与同时刻该地离地2m之相对湿度的模式初值之间的差值可能是由模式初值气温与实测气温之间的差别引起的,也可能是由模式计算的比湿与基于观测计算的比湿之间的差别引起的,更可能是由两者共同引起的。作者企图从模式初值与实况值的相对湿度中将比湿分离出来,在修正了比湿的系统性误差后,进行相对湿度预报的日较差修正。其步骤是:

①由测站地面天气观测报告中的本站气压和露点温度求得该地的比湿实况,其算式如下:

$$Q = \{ \exp[(Td - T_0) \times a / (Td - b)] \} \times 3.80042 / P \quad (6)$$

其中, Q 为比湿(g/kg), Td 为露点温度(K), P 为气压(hPa),而 $T_0(=273.16\text{K})$, a, b 均为常数:

$$Td > 263 \text{ K 时}, a = 17.269, b = 35.86$$

$$Td < 263 \text{ K 时}, a = 21.874, b = 7.66$$

②将模式格点初值(包括离地2m之相对湿度与气温以及地面气压)采用上节的非线性方法插值至各测站(城市)的位置上,然后以插值后得到的模式地面气压(P)和模式2m-气温(T)代入(6)式(T 替换 Td)而求得该地的模式饱和比湿;

③以模式输出的初始时刻的相对湿度和求得的模式饱和比湿很容易求出该地的模式比湿的初值;

④将模式比湿的初值与同时刻比湿实况值之间的差值作为模式比湿的系统性误差ERR,采用算式(3)与(4)的类似方法来修正模式比湿的预报值;

⑤然后再以最高、最低温度预报值(由DMO或MOS作出)求取饱和比湿的最大、最小预报值。在获得了模式的比湿和饱和比湿的最大、最小预报值后,含有日较差修正的相对湿度指导预报就可制作出来并提供参考使用了。

为了便于读者应用,作者可提供计算比湿(Q)、饱和比湿(QS)和相对湿度(RH)所用的计算机FORTRAN程序,它很容易改成为一个子程序,输入本站气压(P)、气温(T)和露点温度(Td),即可输出比湿(Q)、饱和比湿(QS)和相对湿度(RH)。以程序中给出的2个城市的数据作为例子,其计算结果如下:

输入的第一个城市的 T, Td, P 分别为

274.36, 262.58, 1033.76,

输入的第二个城市的 T, T_d, P 分别为

274.36, 262.58, 1011.92,

输出的第一个城市的 Q, QS, RH 分别为

1.48, 4.01, 36.98,

输出的第二个城市的 Q, QS, RH 分别为

1.52, 4.10, 36.98。

作者故意将二个城市的温度(T)和露点(T_d)的数据取值相同,而气压(P)不同,以便从计算结果可以看出,在计算 Q 及 QS 时气压是有影响的,但在计算 RH 时是没有影响的。因为 $RH = (Q/QS) \times 100$, 算式(6)中的气压(P)被消掉。在程序中使用的单位是:

气压(P)为 hPa, 温度(T)和露点(T_d)为 K, 比湿(Q)和饱和比湿(QS)为 g/kg, 相对湿度(RH)为%。

为了进行相对湿度预报的日较差修正,在国家气象中心是采用联接自动化 MOS 预报系统,将全国 264 个城市的 MOS 最高、最低温度预报值读入 M-DMO 预报系统,然后按上述方案进行运算,就能得到预报终止日对应最高、最低温度预报的相对湿度最小值与最大值,两者之差即为相对湿度预报的日较差的近似估计,这样可避免由起报日从观测资料求得的相对湿度的日较差被持续下去。在省、地气象台可采用人机交互方式或由计算机程控读入最高、最低温度预报文件来实现。

4 预报精度

附表给出了 1996 年 1—12 月全国 264 个城市的 30 与 42 小时(对应次日 18 时及第三日 06 时)相对湿度预报的平均绝对误差(MAE,%)。从附表中可以看出,全国 264 个城市(含港、澳、台北)修正后的相对湿度预报的平均绝对误差为 14.7%—17.9%,未作修正的相对湿度预报的平均绝对误差为 19.2%—28.7%,前者优于后者。

附表 1996 年全国 264 个城市的相对湿度预报的平均绝对误差(MAE,%)

月 份	修 正		不 修 正	
	DMO18 时	DMO 06 时	DMO18 时	DMO06 时
1—3 月	22.8	22.1	32.2	44.4
4—6 月	14.2	16.8	14.9	22.2
7—9 月	9.0	14.6	11.4	20.1
10—12 月	12.9	17.9	18.4	28.0
全年平均	14.7	17.9	19.2	28.7

根据目前的预报能力,还不能保证不出现相对湿度预报误差异常明显的情况,因此,在向公众提供预报服务前,应由预报员把关,避免出现异常明显的预报误差。

5 业务自动化

国家气象中心的自动化城市相对湿度预报是在巨型计算机 Cray 系统上定时自动启动运行制作的,包括从 Vax-6320 计算机的地面观测实时要素库读取最新观测资料、从 Cray 计算机系统的 T106 模式的场库获取离地 2m 之相对湿度预报格点值(1.125°×1.125°经纬度)、联接自动化 MOS 预报系统,读得最高、最低温度预报值,然后进入直接模式输出的修正(M-DMO)预报系统,按本文所述方案制作相对湿度预报。最后,将全国 264 个城市和 10 个电视广播城市的相对湿度预报连同从观测资料算得的实时相对湿度数据传输至天气预报室的 MICAPS 计算机工作站上,通常整个运行过程的墙钟时间不超过 1 分钟。此时的相对湿度预报仍系指导预报产品,经值班预报员把关作必要的订正后,才传至国家气象中心的声像室,将其并入晚间电视天气预报节目,由中央电视台向公众播出。

6 若干问题

从修正后的相对湿度预报的平均绝对误差来看,将它作为指导预报来参考还是可以的,但有些时候、有些城市(测站)修正后的相对湿度预报的绝对误差可高达 40%,这表明

直接模式输出的修正预报的精度有时还不够高,必须由值班预报员把关作必要的订正。这种情况一般出现在锋面过境前后,它与数值模式对大气温湿状态的时空变化的预报不够准确有关。

根据本方案,可作出相对湿度的最大值与最小值的预报,但由于在地面天气观测报告中无此项内容,无法检验,故作 18 时(后半夜)及下一天 06 时(午后)的相对湿度预报。

在进行了日较差修正后,06 时(午后)的相对湿度预报值总是低于 18 时(后半夜)的相对湿度预报值,这在绝大多数情况下是对的,但当强烈比湿平流,尤其是冷湿平流发生在 18 时与次日 06 时之间时,实测相对湿度会出现反常的情况,即相对湿度的高值出现在下午而不是在凌晨,遇到这种天气形势,尤其需要值班预报员把关、订正。

Forecasting Relative Humidity for Cities by Modified Direct Model Output

Xia Jianguo Chen Aiqin

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The approach for forecasting relative humidity for cities by Modified Direct Model Output (M-DMO) is presented. The M-DMO is not a kind of statistical means and does not use any historical data from the numerical weather prediction model or from the observation. The M-DMO forecast is based on the 2-meter relative humidity forecast on grids from model T106, which is the current operational model in National Meteorological Center of China and developed from the previous model T63. The relative humidity forecast for 264 cities across China is made by computer going through reading the model forecast into the M-DMO system, interpolating in non-linear formula the forecast values from grids onto cities, reducing the systematic errors of the model forecast, and modifying the difference in relative humidity between the maximum and the minimum on the initial day. The final relative humidity forecast checked and revised by weather forecaster on duty for the ten specific cities including Beijing, Shanghai, and Hong Kong has been shown on CCTV at night every day since June 20, 1996.

Key Words: relative humidity direct model output modifying forecast