

# 基于 MM5 模式的精细化 MOS 温度预报

陈豫英<sup>1,2</sup>, 陈晓光<sup>2</sup>, 马金仁<sup>2</sup>, 马筛艳<sup>2</sup>, 邵剑<sup>2</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002)

**摘要** 利用 2002 年 9 月到 2003 年 8 月 MM5 模式每隔 1 h 的站点基本要素预报场和物理量诊断场资料, 以及相应时段内宁夏 25 个测站的温度自记观测资料, 同时采用多元线性和逐步回归 2 种 MOS 统计方法, 预报宁夏 25 个测站 48 h 逐时温度。通过对 2004 年 6 月至 2005 年 5 月的预报效果检验, 结果表明: MOS 方法对宁夏 48 h 逐时温度有较强的预报能力, 当天气形势变化较平稳时, MOS 预报结果稳定, 平均绝对误差控制在 2 °C 之内, 当有明显的冷空气活动时, 误差变率起伏波动较大, 预报结果不稳定, 但与原 MM5 模式直接输出结果相比, MOS 预报水平有明显提高, 24 h 极端温度 TS 评分个别月接近甚至超过预报员。

**关键词** MM5 模式; 温度精细化预报; MOS 方法  
**中图分类号** P457.3 **文献标识码** A

近些年, 一些地区采用日最高、最低气温的预报值主观地内插出逐时气温或应用日较差分级客观地预报逐时气温<sup>[1]</sup>, 这些预报方法无论在自动化程度上, 还是预报准确率上都不能满足精细化预报的需求。目前, 定时、定点、定量的客观要素预报是建立在数值预报的基础上, 实践证明, 通过数值预报的释用, 确实使要素预报比模式直接输出的预报有了明显的提高<sup>[2~3]</sup>。

近几年我国数值预报释用工作主要是针对 T106(或 T213)模式、EC 模式等全球模式的释用<sup>[4]</sup>, 由于受资料输出种类、数量、资料分辨率等条件的限制, 预报效果难以满足业务需要。MM5 中尺度气象模式是目前国家气象中心和各省局普遍采用的一种业务预报模式。宁夏气象局目前运行的 MM5 模式分辨率已达到 20 km × 20 km, 可以根据用户需要输出逐时不同层次的各种气象要素<sup>[5]</sup>, 这为制作定时、定点、定量的要素预报提供了可靠的基础条件。本文介绍了宁夏基于 MM5 模式产品制作的精细化 MOS 温度预报, 并给出了 2004 年 6 月至 2005 年 5 月的预报评估结果。

## 1 资料选取

为得到连续完整的样本资料, 利用 MM5 模式对

2002 年 9 月至 2003 年 8 月进行了逐日反算, 每天 08 00(北京时, 下同)、20 00 分别积分 48 h, 得到样本长度为 359 的 MM5 输出产品。模式输出产品是采用 Cressman 客观分析方法<sup>[6]</sup>将模式输出的格点资料插值到宁夏 25 个站点, 得到每隔 1 h 的站点基本要素预报场和物理量诊断场。实况资料为相应时段内宁夏 25 个测站逐时温度自记观测资料。

## 2 MOS 方法

采用 MOS 统计方法建立逐站、逐时温度预报模型。在考虑宁夏气温季节性变化的基础上, 首先将资料按自然季节划分为春(3~5月)、夏(6~8月)、秋(9~11月)、冬(12~2月)4季, 然后根据物理因子与预报对象的相关性, 初选预报因子, 并据相关分析和相关检验原理对初选因子进行筛选排序, 将通过 0.05 显著性 *t* 检验的因子按不同季节、不同站点、不同时段分别建立因子库, 应用多元线性回归和逐步回归 2 种方法建立 48 h 逐时 MOS 温度预报方程, 并根据历史拟合率和预报试验结果建立最终模型。

## 3 预报模型的建立

### 3.1 预报因子处理

目前在国外比较成熟的 MOS 预报业务中, 预报因子的处理基本是将数值预报产品的格点预报值直

接内插到站点上作为站点的预报因子,再与站点的预报对象建立预报方程<sup>[7]</sup>,公式如下:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^N (V_i \cdot W_i)}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (1)$$

其中  $V_i$  为站点因子值,  $R_i$  和  $R_0$  分别为第  $i$  个网格点的数值预报值和该格点对站点  $S$  影响的权重函数,  $N$  为可能对站点  $S$  造成影响的格点总数。考虑离预报站点不同距离的格点对站点所产生的影响各不相同,其影响权重函数采用 Cressman 客观分析方法<sup>[6]</sup>函数进行计算:

$$W_i = \begin{cases} \frac{R_0^2 - R_i^2}{R_0^2 + R_i^2} & R_i \leq R_0 \\ 0 & R_i > R_0 \end{cases} \quad (2)$$

方程(2)中  $R_i$  和  $R_0$  分别为第  $i$  个网格点到插值站点  $S$  的水平距离和站点  $S$  在插值时考虑的影响半径。实际计算过程中发现:当  $R_0$  等于 5 倍格距时,插值效果最好。

### 3.2 人工初选预报因子

依据天气学理论,根据已有的预报经验和知识,在充分考虑了宁夏的地形、气候背景以及影响气温变化的因素等各项条件后,有针对性的初选了 56 个对本地温度物理意义明确的因子场,这些因子包括 5 个层次(地面、850 hPa、700 hPa、500 hPa、300 hPa)的预报场或诊断场。(1)描述天气系统的因子:高度场、厚度场(2)动力因子:涡度、散度、垂直速度、UV 分量、平流、位涡等(3)能量因子:总能量、潜热通量、位温、假相当位温等(4)湿度因子:降水、相对湿度、水汽混合比、水汽通量等(5)动态因子:反映天气系统、诊断量的变化,包括以上各因子的 24 h 变量。

由于不同的物理量有不同的量纲,因此具体计算预报因子时需对各物理量先进行标准化处理,这里采用方差标准化处理。

### 3.3 预报因子与预报对象的相关性分析

在预报对象与预报因子单点相关普查的基础上,选取相关系数大而且相互独立的高相关因子,并依据相关系数大小,按能通过 0.05 显著性  $t$  检验的标准对因子库进行排序筛选,按不同季节、不同站点、不同时段分别建立因子库,和实况温度按一一对应关系建立分季逐站逐时回归方程。

### 3.4 建立 MOS 预报方程

回归分析是目前气象统计中最为常用的一种方法,对于多个因子通常采用的是多元线性回归和逐步回归<sup>[8]</sup>。我们同时用这 2 种方法建立 MOS

预报方程,其中求解回归系数采用最小二乘法和乔里司基(Kholesky)分解法(即平方根法)<sup>[9]</sup>。针对这 2 种不同的统计方法,采取不同建模方式。

### 3.5 预报结果处理

温度在昼夜之间呈一种连续的、有规律的波动变化,从历史拟合率和预报试验情况分析发现,个别站点、个别时段有时会出现预报值异常偏高或偏低,为降低这种因统计方法带来的误差,我们采用五点三次平滑方法<sup>[9]</sup>对 48 个时次的预报值进行平滑。公式如下:

$$\bar{y}_{i-2} = \frac{1}{70}(69y_{i-2} + 4y_{i-1} - 6y_i + 4y_{i+1} - y_{i+2}) \quad (3)$$

$$\bar{y}_{i-1} = \frac{1}{35}(2y_{i-2} + 27y_{i-1} + 12y_i - 8y_{i+1} + 2y_{i+2}) \quad (4)$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{35}(-3y_{i-2} + 12y_{i-1} + 17y_i + 12y_{i+1} - 3y_{i+2}) \quad (5)$$

$$\bar{y}_{i+1} = \frac{1}{35}(2y_{i-2} - 8y_{i-1} + 12y_i + 27y_{i+1} + 2y_{i+2}) \quad (6)$$

$$\bar{y}_{i+2} = \frac{1}{70}(-y_{i-2} + 4y_{i-1} - 6y_i + 4y_{i+1} + 69y_{i+2}) \quad (7)$$

其中,  $\bar{y}_i$  是  $y_i$  的平滑值,对于开始和最后 2 点分别由上述公式(3)、(4)与(6)、(7)进行平滑。该方法要求数据点数  $n \geq 5$ 。经过平滑后的结果与实况的误差较原值与实况的误差有所降低(表略)。

## 4 预报模式的客观化处理

精细化预报的各种计算均在 SGI300 高性能计算机上完成。由于该机自身硬件的反应速度远高于网络传输速度,所以计算的结果都写到 SGI300 的硬盘上。全部计算完成后,通过一个 SHELL 程序调用 FTP,根据我们指定的参数,自动将最新产品按顺序传输到宁夏气象信息骨干网服务器的设定位置上形成产品库,并将最后的输出结果处理到业务工作平面上以供预报员随时调用。

## 5 预报效果评估

该预报模型于 2004 年夏季投入业务试运行,利用宁夏已建成的 17 个自动气象站的逐时气温资料,对 2004 年 6 月至 2005 年 5 月的预报效果进行检验,经过统计分析预报和实况之间的差异(图 1),发现:该方法对逐时气温有较强的预报能力,且较原模式预报水平有显著提高。

### 5.1 日常预报效果检验

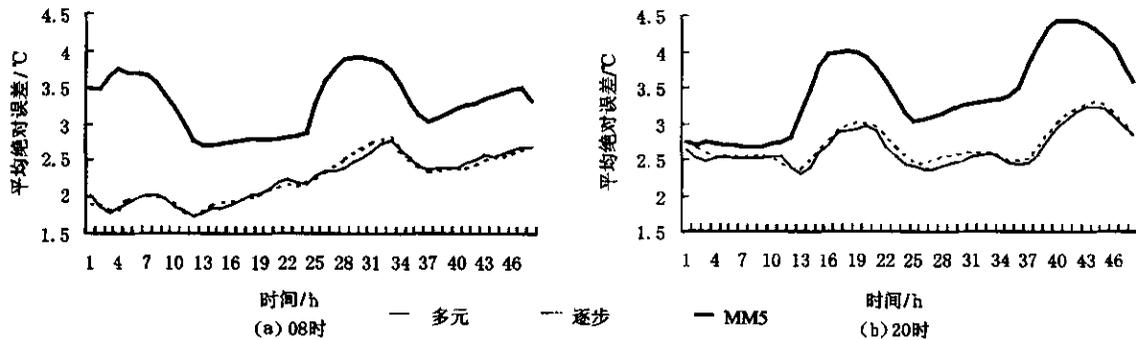


图1 2004年6月至2005年5月48h逐时温度预报平均绝对误差(°C)

Fig.1 The average absolute error(°C) of hourly temperature prediction for 48 hours from June of 2004 to May of 2005

从图1看到:MOS预报48h误差基本控制在1.5~3°C,只有个别时次误差略>3°C;前20h误差变率稳定,后28h预报误差随时效延长缓慢增长,误差变率保持在1°C范围内,预报较稳定。20时比08时误差平均高1°C,稳定性也较08时差。MM5误差变化趋势与MOS基本一致,但在整个48h时段内误差变率起伏波动大,预报稳定性较差,而且误差明显高于MOS预报;虽然多元和逐步是2种不同的统计预报方法,但预报结果相近,2条误差曲线几乎重合。

分析2004~2005年春、夏、秋、冬4个季节温度预报效果(表1)发现,春季和冬季预报效果最差,秋季次之,夏季相对较好。冬半年预报误差整体高于夏半年,过渡季节的预报误差比其它季节略高。春季由于冷暖空气交替活动频繁,升温 and 降温的速度和幅度都比较大,气温变化剧烈,预报效果最差;冬季处于蒙古高压控制,冷空气频频侵袭,气温低,预报效果相对较差;夏季受大陆热低压影响,气温变化幅度较小,预报效果相

对较好。秋季处在夏、冬转换季节,气温变化较春季相对平稳,预报效果虽然比夏季差,但好于春季。

表1 2004~2005年宁夏各季节气温平均绝对误差(°C)  
Tab.1 The average absolute error(°C) of temperature in each season of 2004~2005 in Ningxia

预报方法	春季		夏季		秋季		冬季	
	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时
多元	2.42	2.94	2.08	2.53	2.21	2.44	2.45	2.80
逐步	2.46	3.00	2.03	2.57	2.16	2.44	2.53	2.88
MM5	4.24	4.44	2.82	2.96	2.78	2.71	3.66	3.69

MOS温度预报有日变化和区域性差异,预报误差白天大于夜间,北部大于南部。这与温度的日变化和宁夏地形特点有关,随日出温度变化增大,随日落温度变化趋于稳定;北部地区海拔低、纬度高,容易受冷空气侵袭,温度变化大,预报误差也相对较大;南部地区地势较高,阻挡了冷空气的入侵,温度变化较小。

5.2 极端温度预报效果检验

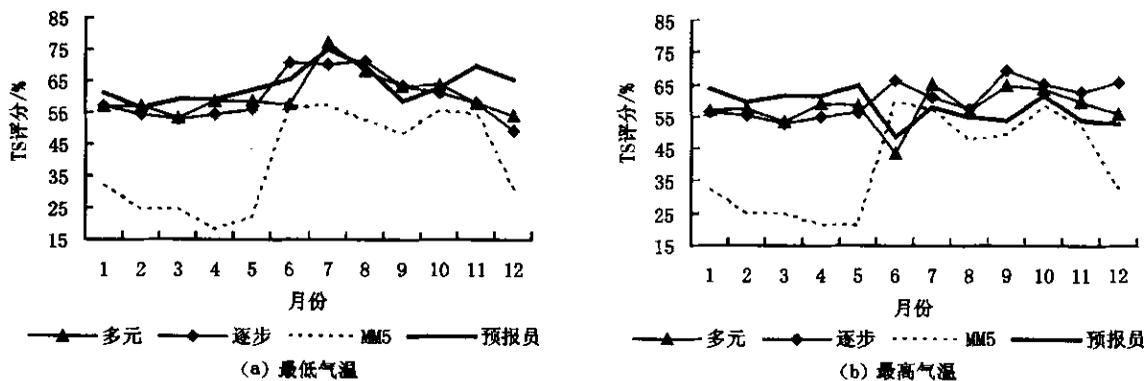


图2 24h极端温度TS评分

Fig.2 TS grade to 24 hours extreme temperature

利用 2004 年 6 至 2005 年 5 月宁夏 25 个测站气温资料,对 08 时 MM5、MOS 24 h、48 h 以及预报员 24 h 预报最高、最低气温 TS 评分(误差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ )进行综合对比(图 2、图 3)结果表明:

(1) MOS 方法整体上 TS 评分随预报时效的增加而减小,随着气候的逐渐变暖,TS 评分相应逐渐增大,6~10 月的 TS 评分明显高于其它月份。

(2) MOS 方法 24 h 最低气温除了 9 月,其它各月评分都低于预报员,24 h 最高气温 1~6 月低于预报员,7~12 月高于预报员。48 h TS 评分较 24 h 有所降低,但依然有较强的指导价值。

综上所述,MOS 温度预报暖季好于冷季,而预报员在冷季的 TS 评分高于 MOS 24 h 最低气温的预报也比 MOS 强,说明 MOS 对冷空气的预报能力不如预报员,但 24 h 最高气温个别月份的 TS 评分 MOS 接近甚至超过预报员,说明 MOS 预报有一定的指导作用,而且远远超过 MM5 原模式预报水平。

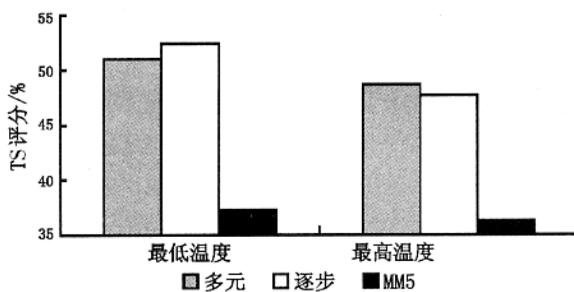


图 3 48 h 极端温度 TS 评分

Fig. 3 TS grades to 48 h extreme temperature

### 5.3 特殊天气条件下预报效果检验

进一步分析各站逐日逐时预报结果(图略)得知,当天气形势变化较平稳时,各站逐时预报误差基本控制在 $2^{\circ}\text{C}$ 之内,个别站、个别时次温度预报误差有时甚至为 $0^{\circ}\text{C}$ ;当有强冷空气活动时,基本能预报出气温的升降趋势,但幅度小于实际的升降幅度,大部分测站预报误差较大,个别站、个别时次温度预报误差可达 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ ;而且 MOS 预报冷空气活动一般滞后 $12\sim 24\text{h}$ ,这可能与 MM5 模式的预报能力有密切关系。

## 6 结论及改进方向

(1) 通过多元线性回归和逐步回归 2 种方法建立的逐时温度 MOS 方程,无论是准确性还是稳定性,都比 MM5 模式直接输出的预报有明显提高,而

且 24 h 极端温度 TS 评分个别月份接近甚至超过预报员,说明该方法制作 48 h 逐时温度预报结果是可用的或是可参考的,但在天气变化剧烈、出现极端天气时,该方法与一般的统计方法类似,误差增大。

(2) 分析温度预报所选的因子发现:多元回归取 15 个相关最好的因子预报效果最佳,逐步回归因子数控制在 20 个以内预报效果最好,而且所选的因子随季节、站点、时次不同而改变,但入选方程的因子多是与本地温度有关的中低层物理量,考虑到宁夏区域性差异,对于海拔 $> 1\ 500\text{gpdm}$ 的测站,850 hPa 及以下的因子慎用。

(3) 由于 MOS 方法本身存在的缺陷,造成应用效果不理想,为了既发挥数值预报的优势,又适应 MOS 方法的特点,今后挑选预报因子时应多考虑同时具有天气学意义和物理意义的因子,并可适当加入一些经验因子和气候因子。

(4) 由于 MOS 预报只选用了 MM5 模式的输出产品,使其预报质量严重依赖于模式预报的准确性,今后在建立 MOS 预报方程时,可考虑适当增加一些测站的实况因子,如本站温、压、湿等基本要素场资料,可能会起到较好的作用。

(5) 由于受 MM5 资料长度的限制,该方法的研究仅是初步成果,随着资料的积累、MM5 模式的完善和 MOS 方法在实际应用中的不断改进和完善,今后的预报效果还会有所提高。

### 参考文献:

- [1] 张德山, 冀以文, 白钢, 等. 日较差分级的北京地面逐时气温预报[J]. 气象, 1999, 25(5): 54-57.
- [2] 刘还珠, 赵声蓉, 陆志善, 等. 国家气象中心气象要素的客观预报——MOS 系统[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 181-191.
- [3] 孙兰东, 张铁军. 甘肃省常规天气要素客观分县预报系统[J]. 干旱气象, 2004, 22(3): 55-58.
- [4] 周晓珊, 杨森, 张立祥. 中尺度数值预报模型(MM5 V3)在沈阳区域气象中心的试用[J]. 气象, 2001, 27(8): 28-32.
- [5] 丁建军, 胡文东, 陈晓娟, 等. 2003 年 7 月 31 日固原暴雨天气数值模拟[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 38-43.
- [6] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992. 843-850.
- [7] 杞明辉, 肖子牛, 晏红明. 一种改进的考虑环流特征的 MOS 预报方法[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 405-408.
- [8] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 29-86.
- [9] 徐士良. FORTRAN 常用算法程序集[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 376-388.

## Fine MOS Temperature Forecast Based on MM5

CHEN Yu - ying<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao - guang<sup>2</sup>, MA Jin - ren<sup>2</sup>, MA Shai - yan<sup>2</sup>, SHAO Jian<sup>2</sup>

( 1. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China ;

2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction of Ningxia, Yinchuan 750002, China )

**Abstract** Based on hourly data of both basic elements forecasting fields and physical quantity diagnosing fields of MM5, and the temperature records of 25 stations in Ningxia from September 2002 to August 2003, multivariate and stepwise regressions were adopted to set up the MOS model of 48 hours hourly temperature forecast in 25 stations in Ningxia. The effect test conducted from June 2004 to May 2005 indicates that the MOS method has a good capability in forecasting 48 h hourly temperature in Ningxia. As weather changed smoothly, the forecast result of MOS was stable, and mean absolute errors were within 2 °C; When the cold air invaded, the forecast result was unstable but it was much better than that of original product of MM5. Some of the TS grades of 24 hours extreme temperature forecast are close to or even better than that of forecasters.

**Key words** MM5; fine temperature forecast; MOS