

多模式集成 MOS 方法在精细化温度预报中的应用^{*1}

张秀年^{1,2}, 曹杰¹, 杨素雨², 札明辉²

(1. 云南大学资源与环境学院, 云南昆明 650091; 2. 云南省气象台, 云南昆明 650034)

摘要: 利用 T213 和 ECMWF 模式产品, 对集成 MOS 预报方法在温度预报方面做了研究试验, 并将其与单模式 MOS 预报方法进行了对比分析. 研究表明, 多模式集成 MOS 预报方法与传统 MOS 预报方法相比, 预报水平有了进一步的提高, 它能同时充分利用多个模式产品的有用信息, 吸取其各自的优点, 做出更好的预报. 在系统程序设计时, 给各因子附带一身份识别参数, 解决了多模式数据处理的复杂性问题. 试验过程中发现, 各季节的 MOS 温度预报水平存在较明显的差异, 特别是夏季的预报水平明显高于其它三季, 其原因主要是夏季每日最高、最低温度的变率较小, 使其预报相对容易, 但 MOS 方法对预报水平仍有较大贡献.

关键词: 集成 MOS 方法; 多模式; 数值产品释用; 温度预报

中图分类号: P 457.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2011)01-0067-04

精细化天气预报业务是随着科学的进步、经济的发展以及人们的需求而提出来的, 同时也是全球预报业务发展的总体趋势. 中国气象事业发展战略把精细化天气预报业务列为改革的重点发展方向之一^[1]. 由于精细化预报涉及的预报对象有较大的扩充, 预报时效的不断延长, 预报间隔的进一步缩短, 预报空间的更加细化, 所以精细化预报的预报数据量是十分巨大的, 预报员按常规的、传统的预报方法无法完成精细化预报的制作.

随着数值预报技术的不断发展, 数值预报产品的可用时效越来越长, 空间分辨率也越来越细, 其为精细化要素预报的实现提供了必要的前提条件和坚实基础. 这样, 数值预报产品的释用课题应运而生, 它是对数值预报这一综合性的结果, 运用动力学、统计学技术进行再一次加工、修正, 使预报精度得到进一步提高, 以达到有价值的要素预报水平^[2]. 实践也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^[2].

自数值天气预报技术诞生以来, 各国工作者就不断进行数值预报产品的解释应用研究, 并探索出

了不少有效、实用的客观释用方法^[2-9], 如完全预报法(PP法)、模式输出统计(MOS)、人工神经网络(ANN)、卡尔曼滤波(KLM)、支持向量机方法(SVM)等. Glathn 和 Lowry 提出了 MOS 预报方法^[4], 其从数值预报模式输出产品中选取预报因子向量 X , 求出预报量 y 的同时或近于同时预报关系式, 在实际应用时, 就把数值预报输出的结果代入相应的预报关系中. MOS 方法可以引入许多其它方法难以引入的大量的预报因子. 它还能自动地订正数值预报的系统性误差. 在实际预报工作中, MOS 预报方法得到广泛的应用, 并取得了较好的预报效果^[2,4,9].

近年来预报技术不断发展, 数值模式产品及其释用产品日益丰富, 对于同一个预报对象, 预报员往往要面对大量不同的预报产品, 这使得集成预报问题变得非常重要. 如赵声蓉、周兵等^[10-11], 通过利用神经网络等方法对不同模式的温度、降水产品进行集成试验, 结果表明集成预报结果要明显优于单个预报成员. 以往的集成方法, 通常是对某一要素先做出不同预报方法的预报结果, 再应用集成方法进行集成. MOS 在已往的应用中通常也都是对

* 收稿日期: 2009-10-16

基金项目: 云南省社会发展科技计划(2009CA023), 国家气象局 2010 行业专项“地形复杂地区的 MOS 预报研究”, 2009 业务能力建设重点项目“强降水天气过程主客观预报方法研究及系统建设”共同资助.

作者简介: 张秀年(1968-), 男, 江苏人, 工程师, 主要从事天气预报方法及气候变化研究. E-mail: km-zxn@163.com.

单个模式产品进行释用. 为了利用 MOS 能同时综合大量因子信息得到预报方程的优点, 本论文将不同模式的预报因子放在一起同时建立预报方程, 使方程建立和预报集成同步实现. 本文即利用集成 MOS 方法对最高最低温度进行预报试验.

1 资料与方法

1.1 MOS 方法 MOS 方法是在数值预报模式的预报产品和相应时次的预报对象间建立统计关系(预报方程), 实际应用时, 就把数值预报输出的各因子值代入相应的预报关系中, 即可得到所需预报产品.

MOS 预报是建立在多元线性回归技术^[12]基础上, 对于样本容量为 n 的 p 个预报因子的向量 $X_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 和预报对象 $y (y_1, y_2, \dots, y_n)$, 可以建立起线性的回归模型为

$$y = X\beta + \varepsilon, \quad (1)$$

$$\text{其中 } y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix},$$

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1, x_{11}, \dots, x_{1p} \\ \vdots \\ 1, x_{n1}, \dots, x_{np} \end{bmatrix}.$$

在实际应用中我们只能得到预报对象 y 的预报估计值 \hat{y} 和 β 的无偏估计量 B , 即:

$$\hat{y} = XB, \quad (2)$$

$$\text{在(2)中 } \hat{y} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}.$$

通过最小二乘估计, 可以求得回归系数 B , 使得 \hat{y} 和 y 之间的误差达到最小.

在具体的方程建立过程中, 本论文应用逐步回归的方法确立最后的预报因子和预报方程^[12].

1.2 资料来源和处理 本试验所用的模式产品主要有 T213 和 ECMWF 中期数值预报模式产品(简称为 EC). 其中 T213 为国家气象中心系统室整理的和通过国家气象信息中心 FTP 网站下载的 T213 基本场(温、压、湿、风、高度等)资料, 从 2002 年 8 月到 2008 年 8 月; EC 为 9210 系统广播的有关

产品, 从 2003 年 1 月到 2008 年 8 月. 实况资料为 2002 年以来的云南 124 个测站的观测资料.

上述模式产品为基本要素产品, 所以首先依据上述资料进行物理量诊断计算. 计算的物理量主要有动力、热力、稳定度等诊断量 88 个. EC 因所得资料有限, 其可计算的物理量较少.

因预报对象为各站点的要素, 所以要将各模式基本场和诊断场产品插值到各预报站点上, 本试验以 Cressman 线性内插方式进行网格点到站点的插值^[13].

$$\begin{cases} V_s = \frac{\sum_k (W_{ijk} \cdot V_{ijk})}{\sum_{i=1}^N W_{ijk}}, \\ W_{ijk} = \begin{cases} \frac{R_0^2 - R_{ijk}^2}{R_0^2 + R_{ijk}^2}, & (R_{ijk} \leq R_0) \\ 0, & (R_{ijk} > R_0) \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

其中 V_s 为站点因子值, V_{ijk} 和 W_{ijk} 分别为第 k 个网络格点 (i, j) 的数值预报值和该网格点对站点 S 影响的权重函数, N 为可能对站点 S 造成影响的网格点总数; R_{ijk} 和 R_0 分别为第 k 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. 这里 R_0 取为格点资料间距, N 为影响半径内的网格点总数.

目前我国气象部门温度预报实行 2°C 的检验标准, 即预报结果与实况相差 2°C 以上时, 评定为预报错误, 当相差 2°C 及以下时, 评定为预报正确. 对最高、最低温度预报的检验, 采用预报准确率来进行评定. 其计算方法为: 预报准确率 = 预报正确样本数 / (预报正确样本数 + 预报错误样本数).

2 技术方案

在日常预报业务中, T213 模式可得到的产品较全, 而 EC 模式可得到的产品较少但其预报能力更好^[14], 为了同时利用其优势并比较单模式和多模式 MOS 预报的预报效果, 本文设计了 2 套方案进行对比分析. 方案 1 使用 T213 模式产品进行 MOS 预报; 方案 2 利用 T213 模式产品和 EC 模式产品一起进行 MOS 预报. 2 个方案的建方程样本时段为 2003 年 9 月到 2007 年 8 月, 分秋(9~11 月)、冬(12~2 月)、春(3~5 月)、夏(6~8 月)四季分别建立方程. 试报时间为 2007 年 9 月到 2008 年 8 月. 预报对象为 24~168 h 的云南省 124 站日

最高最低温度。

上述2方案利用“云南省气象台精细化预报系统”进行试验。为了实现利用不同模式的因子同时建立回归方程,采用了下列方法进行技术处理。

(1)对于不同模式产品,设置格式一致的产品规范,主要描述了模式产品的名称、开始存放日期、经纬格距、格点数、存放目录、变量、层次、预报时效等信息。

(2)利用“云南省气象台精细化预报系统”的预报因子选择模块进行因子初选,因可以进入的因子非常多,所以需预报员根据不同的预报要素选择相关的因子来建立方程。

方案1中共初选了187个T213因子,每个因子需要说明数据的存放路径、来源模式、因子名、加工类型等信息。将所有初选因子利用逐步回归的方法,即可求出最优的MOS预报方程。因为每个因子均携带了其来源模式信息,所以使多个模式产品在一起建立预报方程得以实现。方案2中除原方案1选的187个T213因子外,增加了38个EC因子。

在求出的预报方程配置文件中(略),各因子同样给出了其数据路径和来源模式,使用方程进行预报时能方便地获取不同模式的预报因子数据。

3 结果分析

3.1 2方案预报效果对比 根据上述2方案分别建立预报方程。表1以昆明站为例给出了2个方案所建方程的对比。其预报要素为最低温度,预报时效为48h预报,预报季节为夏季。由表1可见,方案2中有不少EC的因子进入了方程。用逐步回归的方法,方案1有11个因子进入方程,复回归系数为0.69。方案2有12个因子进入方程,其中6个为T213因子,6个为EC因子,EC因子进入方程的比例要高于T213的,复回归系数为0.73。根据2方案分季节建立的方程,分别做了从2007年9月1日到2008年8月31日的1a的预报试验。

根据上述2方案,对最高、最低温度预报进行了评分检验。图1为云南全省124个站1a的预报准确率。由图1可看出,各个预报时效最高、最低温度预报的预报准确率,方案2均明显高于方案1,幅度2%~4%。这说明多模式MOS预报效果要优于单模式MOS预报效果。分析图1还可发现,随着预报时效的延长,预报水平呈下降的趋势。但最低温度的下降趋势没有最高温度的明显。同时最低温

度的预报水平要好于最高温度。就方案2来说,各预报时效最低温度的预报准确率在63%~68%,最高温度的预报准确率在50%~61%。即使对较长的预报时效,也有较好的预报效果。

3.2 各季节预报效果对比 为了研究不同季节的预报效果,分别统计了各季节预报的预报准确率(图2)。从图中可以看出,夏季的要明显优于其它季节,春季和秋季的预报水平较接近。对于最低温度的预报,预报评分从高到低依次为夏、春、秋、冬,夏季各时效的预报准确率比其它3季大约高30%。对于最高温度的预报,夏季各时效的预报准确率比其它3季大约高12%,春、秋季预报水平相当,冬季的预报在72h前要低于春秋,在96h后要高于春秋。

由上述分析可知,夏季的温度预报评分明显偏高。究其原因,不可能是数值模式在夏季预报较好,因为数值模式在冬季的预报技巧要好于夏季,因而原因可能在于温度本身变化的季节差异。所以以昆明站为例,统计了实况逐日最低温度在各季节的均方差,来代表各季节的温度变率 D 。

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (4)$$

(4)式中 \bar{x} 为各季节各自的平均最低温度。根据(4)式计算得到秋、冬、春、夏的最低温度变率分别为:11.81,6.626,9.34,1.98。可见夏季的温度变率要明显小于其它3季。最高温度的计算结果也是与此类似。正是由于夏季最高、最低温度的上下波动较小,使该季的预报具有较高的准确率。

这又使我们考虑,若直接使用气候值来预报会有什么结果?是否也会有较高的预报准确率?为此使用当月的气候平均值(据2002~2007年的观测)直接进行预报试验,结果如图3所示,图中气候预报误差指的是气候月均值与实况的差。在图中并将其与MOS预报结果、实况进行了对比。试验表明,直接用该月的气候值预报也取得较好的效果,但这并不表示MOS预报就没有意义。检验表明:2008夏季昆明站48h最低温度MOS预报在92d中预报错误的有8d,预报正确的为84d,预报准确率为91.3%;若直接用气候平均预报,错报有22d,正确有70d温度,预报准确率为76%,远低于MOS预报的水平,且不能对转折性天气做出预报。这些分析表明,即使对于温度波动较小的夏季,集成MOS预报方法仍具有较高的预报技巧。

表1 2方案关于昆明站最低温度预报方程的对比(48 h 预报)

Tab.1 Contrasts of the two schemes about minimum temperature forecast equations in Kunming (48 hours forecast)

因子序号	方案1(T213)			方案2(T213 + EC)		
	因子名	代码	系数	因子名	代码	系数
1	700 温度	TTT00070	0.57	T213_700 温度	TTT00070	0.35
2	600 温度	TTT00060	0.20	T213_600 温度	TTT00060	0.15
3	500 温度	TTT00060	0.24	T213_500 相对温度	RRH00050	0.01
4	500 相对温度	RRH00050	0.01	T213_500 涡度平流	AVO00050	0.03
5	700 假相当位温水平梯度	SEY00070	0.03	T213 累积垂直速度	WW900070	155
6	500 涡度平流	AVO00050	0.23	T213_850 温度水平梯度	TXY00085	-0.67
7	500 3 小时变温	D3T00050	0.03	EC_200U 风	UUU00020	-0.02
8	850 温度水平梯度	TXY00085	-0.35	EC_500 涡度	VOR00050	0.01
9	X 向地面气压梯度	PPX00999	-0.70	EC_200 散度	DIV00020	0.002
10	700 与最低温度差	DIT70999	0.18	EC_850 风速	UUV00085	0.29
11	700 风水平切变 Y	UUY70999	-0.16	EC_500 风速	UUV00050	-0.08
12				EC_850 假相当位温	PSE85999	0.10
	常数		-268.12	常数		-161.14
	复回归系数		0.69	复回归系数		0.73

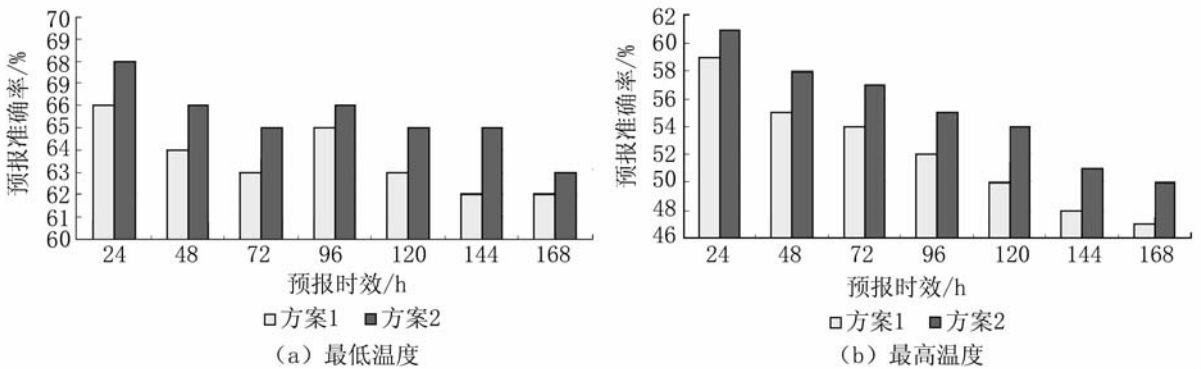


图1 2方案最低温度、最高温度预报效果对比

Fig.1 Contrasts of the two schemes about minimum temperature and maximum temperature forecasting

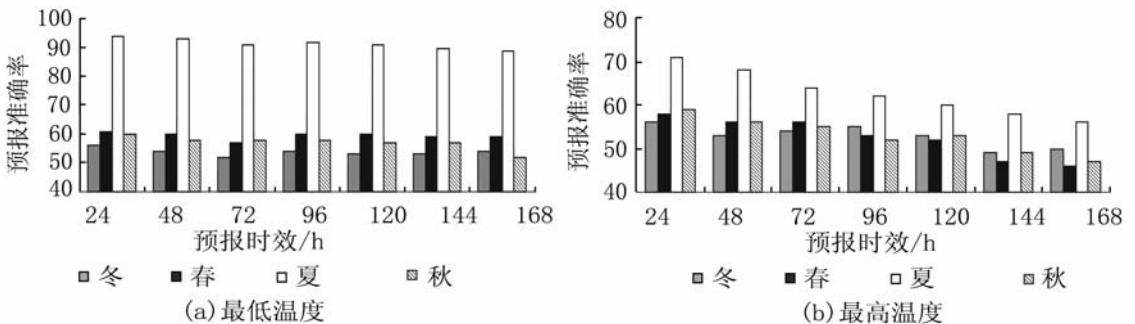


图2 各季节温度预报效果对比

Fig.2 Contrasts of each season about temperature forecasting

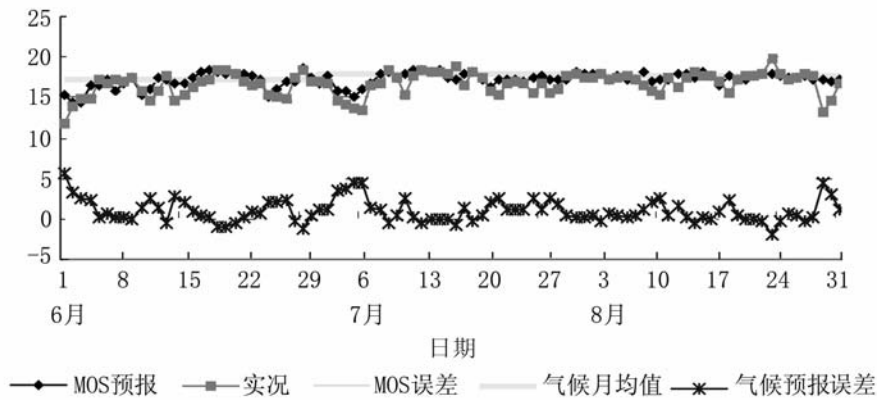


图3 昆明站2008年夏季最低温度实况、预报及误差

Fig. 3 The forecast, observation and difference of minimum temperature in Kunming in Summer, 2008

4 结果与讨论

本论文利用 T213 和 ECMWF 模式产品,对集成 MOS 预报方法在温度预报方面做了研究试验,并将其与单模式 MOS 预报方法进行了对比分析.研究表明:

(1) 2 个预报方案均取得了较好的预报效果,多模式集成 MOS 预报方法与传统 MOS 预报方法相比,预报水平有了进一步的提高. T213 模式产品的优点在于其要素、层次、时效较全,可以进行大量物理量的计算,可以使用的因子较多. ECMWF 模式产品的优势在于其模式预报效果较好,预报能力优于 T213^[14]. 多模式集成 MOS 预报方法能同时充分利用多个模式产品的有用信息,吸取其各自的优点,做出了更好的预报.

(2) 多模式集成 MOS 预报方法所用数据涉及到多个模式的产品,而各模式产品的要素、层次、格距等存在较大差别,因而使预报系统的相关程序设计增加了较大的复杂性. 为克服此困难,在系统设计时,一方面尽量将所用数据整理为统一标准格式,二是在因子数据处理时,使其随时附带一身份识别——来源模式配置文件.

(3) 试验过程中发现,各季节的 MOS 温度预报水平存在较明显的差异,特别是夏季的温度预报水平明显高于其它 3 季,其原因主要是夏季每日最高、最低温度的变率较小,使其预报相对容易些,但 MOS 方法仍对该预报有较大贡献.

(4) 在本试验研究中,因得到渠道的原因,所用 ECMWF 模式的产品只是很少的一部分要素和层次,同时大量的诊断物理量也无法计算使用,若

能得到该模式更多的、格点更细的产品,将会使预报水平有进一步的提高.

致谢: 本研究工作在程序设计及资料方面得到国家气象中心刘还珠、赵声蓉等老师的热心帮助,在此深表感谢!

参考文献:

- [1] 丑纪范,赵柏林. 中国气象事业发展战略研究现代气象业务卷[M]. 北京:气象出版社,2004:139.
- [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] KLEIN W H, LEWIS F. Computer forecasts of maximum and minimum temperatures[J]. J Appl Meteor, 1970, 9: 350-359.
- [4] Facsimile Products, Max/ Min temperature forecasts[Z]// National Weather Service Forecasting Handbook No. 1. U S. Department of commerce NOAA National Weather Service, 1979.
- [5] 金龙,陈宁,林振山. 基于人工神经网络的集成预报方法研究和比较[J]. 气象学报, 1999, 57(2): 198-207.
- [6] 孙景荣,曹晓钟,张秀年. 基于 VC++ 的气象要素客观预报集成系统软件开发[J]. 应用气象学报, 2006, 17(增刊):147-151.
- [7] 陆如华,何于班. 卡尔曼滤波方法在天气预报中的应用[J]. 气象, 1994, 20(9): 41-46.
- [8] 陈晓燕,赵玉金,孙文英,等. 支持向量机方法作温度预报试验[J]. 贵州气象, 2006, 30(1): 31-33.
- [9] 李玉华,耿勃,吴炜. MOS, PP 方法在降水及温度预报中的效果对比检验[J]. 山东气象, 2000, 20(4): 14-15, 24.

(下转第 76 页)