

气温预报方法研究及其应用进展综述

薛志磊¹, 张书余²

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020)

摘要:气温预报一直是天气预报的重要组成部分, 本文对气温预报方法进行综述, 分析其优缺点, 并提出新的气温精细化预报方法的可行性思路, 为提高气温预报质量提供参考。

关键词:气温预报; 方法; 研究进展; 精细化

中图分类号: P456

文献标识码: A

引言

气温预报一直是天气预报的重要组成部分, 其重要性不言而喻。近年来由于全球气候变化的影响, 严寒、高温热浪、短时强降水等极端天气现象频发^[1-2], 民众对于天气预报的要求和关注度也越来越高, 特别是对于极端气温, 其预报是否准确、及时, 直接影响到人们的生产生活。随着科技水平和社会的进步, 以及人们生活水平的不断提高, 气象部门常规发布的最高最低气温预报已经远远不能满足社会的需求。气温不但对于干旱、霜冻、大雾等灾害天气的发生发展起到重要的作用^[3], 是农林牧渔等部门判断灾害状况的重要指标, 而且对于高温低温的预警、医疗气象指数、生活服务指数、舒适度等公共预报服务项目, 以及针对供热供电等系统的专业预报服务, 都需要准确而精细的温度预报作为基础^[4-5]。气象部门在天气预报中面临着新的挑战——精细化预报, 虽然在天气预报中, 温度预报已经是最简单最容易达到精细化要求的一项, 但仍然是气象人员重点研究的课题^[6]。众所周知, 在实际业务中达到时间间隔为逐3 h或逐时、空间间隔<10 km的温度预报精度^[7], 是非常具有挑战性的。

1 气温预报概述

气温预报从天气预报诞生近百年来一直不断发展, 特别是最近几十年得到了快速的发展, 其预报方法也是不断进步, 从最初预报员对天气形势分析和温度实况外推预报温度, 到如今数值预报、集合预报以及各种数学物理方法的应用, 常规温度预报的质量得到大幅提升, 特别是近24 h最高最低气温预报, 已得到较为满意的结果。比如, 青海省气象台的最高最低气温预报, 在国家规定的绝对误差<2℃表示正确的标准下, 其正确率已达到90%以上^[8]。但是气温预报要达到精细化预报的要求, 仍是很复杂的科学问题, 其影响因子多, 且不同天气形势下影响气温的因子各有不同。从热流量方程(1)我们知道温度的局地变化取决于温度平流、气压变化、大气稳定性和非绝热过程^[9]。通过尺度分析得到: 气压变化对局地温度的影响较小, 在实际应用中可以略去, 大尺度系统的局地温度变化主要是温度平流和非绝热作用引起的, 而对中尺度系统来说, 温度平流、大气稳定性和非绝热过程对温度的影响同样重要。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{RT}{pC_p} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y}\right) - w(\gamma_d - \gamma) + \frac{Q}{C_p} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-12-30; 改回日期: 2012-05-23

作者简介: 薛志磊(1983-), 女, 内蒙古人, 硕士研究生, 主要从事温度精细化预报研究. E-mail: rjyxzl@126.com

周后福^[10]针对夏季高温和夏季降水2种天气过程,将各项因子的影响做了定量估算,指出,就高温天气而言,平流项的作用往往使得局地温度降低,但是作用非常弱;2类天气过程中的垂直项都导致局地温度升高,比例占1%~5%;局地温度的增温主要来自于非绝热项,增温比例常常超过95%,它对局地温度的升高具有举足轻重的作用。梁理新、黄国宗^[11]也指出,在没有大尺度系统过境时,近地层中,影响气温变化的主要是非绝热过程,温度平流和大气稳定度对其影响较小。我们知道非绝热过程,其变化不但受天空状况的影响,还受地形、下垫面、植被类型、空气湿度等很多因素的影响^[12],并且其变化过程多在中小尺度上发生,用动力方法去描述是非常复杂和困难的工作。所以在实际的气温预报业务中,气象台站是在数值模式预报产品的基础上,利用多年历史累积的观测资料,通过分析不同因子对气温的影响程度并建立不同的预报模型的方法得到预报值^[8,13-14]。一般分析方法有主观经验分类或者统计回归分析,这些方法在一定程度上延长了温度预报时效,改善了预报的精度。但是,一方面由于数值动力模式对于地面要素的预报水平较差,另一方面经验和统计方法也有其固有的缺点,所以做出的气温预报都存在着这样的缺点:当天气形势变化较平稳时,制作的气温预报结果稳定,当有特殊天气或转折性天气时,预报结果不稳定^[15]。

目前,温度预报业务还是以预报员主观经验为主,客观方法为辅,主要是气象台站要素客观预报方法发展不平衡、预报效果不显著造成的。随着数值预报的发展,数值预报对未来天气变化的指示性已远高于其它信息,数值预报指导信息越来越占有主导地位,并且随着探测技术和通信技术的发展,预报员能够得到的信息量越来越大,原有的气温预报制作方法的弊端凸显,并且已经影响温度预报精度的发展^[16]。本文对近年来温度预报方法做一总结,希望能为提高气温预报质量提供参考。

2 气温预报方法

2.1 天气学方法

所谓天气学方法,是指最原始的气温预报方法,主要依靠预报员的主观经验和专业知识的掌握程度来预报单站气温。例如上世纪六七十年代的文献里^[17-18],介绍了一种制作次日最低气温预报的计算公式,运用当日14时的干湿球温度、历史极端最低

温度和当日天空状况对最低温度预报值进行订正。这种长期以来靠预报员的经验来制作的要素预报,主观因素多,效果不稳定,而且预报技能的掌握和积累周期又比较长,因此预报水平受到很大局限^[16],特别是随着信息量的增大,这种局限就表现得更加明显,于是有台站开始研究将主观方法客观化,用客观方法将预报员思路表现出来。李有宏等^[8]针对青海省42个预报站点,根据预报员的预报思路,采用多级订正的方式,利用常规资料给出各站最高最低气温的初始预报值,再结合数值预报产品和实时常规资料对初值进行客观订正,最后得到最高最低气温的预报值。

这些方法将历史资料和预报员经验得到的订正值通过应用程序给出,日照、云量这些本身观测数据就比较主观并且在计算机中很难体现的量则让预报员主观判断选择^[19],这样既利用了更多的气象信息,也体现了预报员的主观能动性,得到了很好的预报效果,但是在天气稳定时预报效果较佳,在天气多变时,就不是很理想——这是经验方法的固有特点。此外,在运用统计分析方法预报气温时,通过总结经验得出影响气温的初选因子,减少了建立统计方程的计算量。

到1990年代以后我国建成了全球中期数值天气预报业务系统,数值预报技术逐渐业务化,大大提高了天气预报(特别是天气形势预报)的质量和可靠性^[20-21],但是在实际应用中发现数值预报直接输出的要素预报,特别是温度预报值与实际观测值存在较大的误差^[22],需要对要素的数值预报值进行订正,这就出现了“数值预报产品释用”的概念,所谓数值预报产品释用是对数值模式预报产品的进一步“解释应用”^[23],具体来说就是利用统计、动力等计算方法,结合预报员主观经验,对数值预报的结果进行分析、订正,建立预报模型,最终给出客观要素预报结果,为预报员提供客观预报产品支持。在实际业务中气温的预报是建立在数值预报基础之上,而数值预报本身的要素预报存在不同的系统误差和随机误差,通过数值预报产品的进一步释用可以在一定程度上减少模式的这些误差,能提高客观要素预报的准确率。而预报员的工作重心也逐渐转移到数值预报释用、要素预报值的客观订正和预报服务上面。

2.2 统计分析方法

2.2.1 完全预报方法(PP法)和模式输出统计(MOS)方法

随着数值预报技术的不断发展和气象观测数据的逐渐累积,气象台站及科研单位相继开展了温度客观预报方法研究,因为统计方法在理论上发展成熟,计算过程相对简单,所以最早应用于温度预报。目前最常用的2种方法是:完全预报方法(PP方法)和模式输出统计方法(MOS)。这2种方法是应用线性回归,或分析观测数据,或分析数值模式预报结果,是动力统计相结合的方法,通过数值模式体现影响温度预报的动力学特征,通过统计方法得到温度预报差值订正的一般规律。

完全预报方法(Perfect Prediction)是美国气象学者克莱因^[24]在1950年代末提出的,首先用历史资料中与预报对象同时间的实际气象参量作预报因子,建立统计方程,之后在假定数值预报的结果是“完全正确”(perfect)的前提下,用数值预报输出值代入到上述统计方程中,就可得到与预报时刻相对应的预报值,这种称为完全预报法^[13,25-26]。它的优点在于,统计分析结果基于很长的观测样本数据,因此得出的统计规律一般比较稳定可靠,可以分为很细的情况来建立方程,同时方程不依赖模式,模式更新换代以后,也不需要重新推导方程,可长久使用,模式精度的提高可以提高PP方法的预报质量,但是该方法除含有统计关系造成的误差外,主要是无法考虑数值模式的预报误差,使最终的气温预报结果受到一定影响。韩世刚等^[13]在PP方法的基础上,通过主观经验和理论分析,从划分季节、有无降水和850 hPa 24 h变温3方面考虑对EC输出的850 hPa温度数值预报产品进行进一步释用,得到了精细的最高最低温度预报值。李玉华^[27]等分别用PP方法和MOS方法建立1~5 d日极端气温的预报方程,并对这2种方程进行对比检验,发现PP方法的预报效果较MOS方法要略逊一筹。

模式输出统计方法(Model Output Statistics),即MOS方法,是Glathn和Lowry^[28]在1972年提出的,他们所提出的MOS方法已经成为世界各国作为实际气象要素短期预报的主要方法之一^[7]。其具体做法是从数值预报模式的归档资料中选取预报因子,求出预报量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线性统计关系的一种方法^[28],其优点是能引入许多其它方法难以引入的大量的预报因子,且能自动地与局地天气特征相匹配,

对数值模式的系统性偏差能作出适当的订正,可以消除模式的系统误差。但是当数值预报模式发生改变时,则需要重新积累资料,重建预报方程,特别是现今数值模式飞速发展,这一点给MOS方法的应用造成了很大的不便。此外,统计关系的确立是基于数值模式产品数据的大量累积的基础上的,特别是对于极端天气来说,其发生几率本身就就比较小,而数值预报累积的资料相对于观测数据也是少的,所以对于极端天气的预报效果MOS方法表现不佳。MOS方法避免数值预报场误差对要素预报的影响,直接建立数值预报量与要素之间的统计关系,使要素预报更便于客观化和自动化。该方法预报准确率已经达到了较高水平,李玉华等^[27]对1999年7~9月山东省日极端气温MOS预报结果检验发现,对于最低气温预报,1~5 d平均绝对误差都在2℃以内,这对提高长时效的温度预报准确率有重要的意义。MOS方法在实际应用中最重要的是预报因子的选择,是否能选择“最优的”预报因子是该方法在气温预报中的关键所在,所以其中所使用的统计模型的改善工作近年来仍在进行^[29]。

2.2.2 多元线性回归

多元回归分析是用来寻找多个因子与预报量之间的定量统计关系的一种方法,是目前气象统计分析中最为常用也是最基本的方法之一^[30]。其理论严谨成熟,并且适用于气温变化的特性(在一定的时间和空间范围内温度变化可视为线性变化)。

线性回归建立的模型比较简单,假设气温和其他气象要素之间在一定时间和空间范围内可近似的表示成这种关系:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + \varepsilon$$

y 代表气温, $x_1 \dots x_p$ 代表影响气温的 p 个因子, ε 代表误差,是若干个互相独立的且遵从同一正态分布的随机变量。通过 F 检验来确定预报量与预报因子之间是否确有线性关系,在显著水平 α 下,根据一次抽样得到的样本计算值 $F > F_\alpha$,则认为回归关系是显著的。反之,则认为回归关系不显著,这样对因子逐步剔除和引进。韦淑侠^[15]利用多因子线性回归MOS统计方法对青海省51个测站1~10 d每隔24 h的长时效日最低、最高气温预报,预报效果检验表明:当天气形势变化较平稳时,MOS方法制作的气温预报结果可用,当有特殊天气或转折性天气时预报结果不可用,这也与数值模式对于

转折天气的预报效果较差有着一定的关系。

2.2.3 逐步线性回归方法

在建立多元回归方程的过程中,尽管最后都作了方程的统计检验,但是并不意味着在 p 个因子中,每个因子对预报量的影响都是显著的,而逐步回归分析是根据一定的标准引进变量进行回归,从包含全部变量的回归方程中逐步剔除不显著,且方差贡献最小的因子,并逐步引入显著的、方差贡献最大的因子进入回归方程,直到在回归方程中的变量都不能剔除而又无新变量可以引入时为止。逐步回归方法的提出大大提高了因子筛选的效率。陈豫英等^[31]分别用多元回归和逐步回归2种方法建立MOS模型,通过对比检验发现二者预报结果相似,但是多元回归取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。魏秀兰等^[5]利用MM5格点资料和菏泽市各测站各时次的气温资料进行相关分析,筛选出显著相关因子,用逐步回归方法建立一套菏泽市气温精细化预报方程,通过了复相关系数和置信度检验,得到了较好的预报效果。陈百炼^[14]采用了较严谨的双重检验逐步回归技术来进行MOS预报方程的建立,得到最高温度1~5d预报结果平均绝对误差在2℃左右;最低温度预报平均绝对误差在1~2℃,检验结果表明温度分县MOS预报具有较好指导意义。

2.2.4 最优子集回归方法

逐步回归中置信度高的回归方程不一定是最显著的方程,最优子集回归方法的提出解决了这个问题,它与逐步回归方法的区别在于它所建立的模型是全局最优的。它将全部预报因子的所有不同排列组合与预报量建立全部可能的回归方程,再从其中确定出一个回归效果最好的子集回归,这个子集回归称为最优子集^[32]。最优子集回归预报模型采用CSC双评分进行判别,能够比逐步回归方法选取更好的因子,能够使进入预报方程的预报因子对预报方程贡献最大化。统计方法采用PRESS准则,既能反映因子的拟合好坏,也能衡量预测能力的好坏,可以选取预报能力较好的因子。CSC双评分准则旨在使模型拟合精度更好,趋势更准。显然CSC达到最大时相应的回归模型为最优^[33]。时兴合等^[34]应用最优子集回归预报青藏高原冬季气温,检验得知该

方法对青海冬季气温的定性、定量预报均具有较高的预报精度。

2.2.5 卡尔曼滤波方法

之前的方法我们都假设得到的观测数据是完全正确,没有随机误差的,而实际情况是得到的往往是一系列带有误差的实测值,需要排除误差的干扰,分离出所需要的物理参数的估计值,并使估计值的误差达到最小,这就是滤波的基本思想^[35]。1960年代卡尔曼把状态空间模型引入滤波理论,并导出了一套递推估计算法,后人称之为卡尔曼滤波理论。卡尔曼滤波是以最小均方误差为估计的最佳准则,来寻求一套递推估计的算法,利用前一时刻的估计值和现时刻的观测值来更新对状态变量的估计,求出当前时刻的估计值。前一时刻预报误差反馈到原来的预报方程,并及时修正预报方程系数,可以提高下一时刻的预报精度,这是非常有气象意义的^[36]。

有气象学者指出^[37],我们可以利用卡尔曼滤波方法,针对MOS方法的缺点,建立可变的预报模型,即根据增加的资料修正MOS模式中的参数,使其随着数值模式发展而更新的过程更加方便,因为卡尔曼滤波不仅不要求有足够的数值预报产品的历史资料,而且可利用前一次预报误差反馈信息来修正方程^[38]。在建立卡尔曼滤波方法中假定滤波对象是离散时间的线性动态系统,气象要素预报对象具有这种特征。陆如华等^[35]介绍了卡尔曼滤波方法在天气预报中的应用,指出卡尔曼滤波方法适用于预报量为连续变量如最高、最低气温、湿度、露点等,而不适用于不连续变量如降水、雷暴等,并用该方法预报了北京市最低温度得到很好的结果。吴建秋等^[39]利用NCEP格点数据用卡尔曼滤波方法进行精度为6h一次的温度精细化预报试验,得到预报精度较高且稳定的预报结果。

2.3 非线性方法

因为气象变量之间的关系常常不是理想的线性关系,采用MOS、卡尔曼滤波等线性方法释用数值产品进行温度预报,随着预报时空分辨率的提高和预报时效的延长,其预报效果并不十分理想^[40]。预报量与预报因子的关系更接近非线性,所以非线性方法在理论上预报效果更优,但是其理论复杂、计算量大,随着近年来计算机技术的发展,非线性数据统计方法才逐渐被引入气象预报领域。

2.3.1 BP神经网络

人工神经网络是非线性方法的一种,它实际上

是一个可自动实现2组变量间非线性映射关系的数据处理系统,其本质是优化计算中的梯度下降法,利用误差对于权、阈值的一阶导数信息,应用误差反传原理不断调整网络权值、阈值,使网络输出值与期望值之间的误差平方和达到最小或小于设定精度^[41]。神经网络气象中多采用BP神经网络模型,建模时,通过若干组样本进行反复学习训练、监控误差参数,直到误差信号满足某一值为止。网络的大量参数均由学习(即训练)获得,而不是由人设定,即从原始数据中“提取”信息,逼近规律,而不是由人赋予规律,这一点十分重要。它的非线性特点更优于一般的统计方法^[42]。马学款^[43]采用动态学习率BP算法的人工神经网络建模,在ECWFM、T213等模式数值预报产品释用基础上进行1~7d逐日最高、最低温度模拟预测,并与已有的MOS模型进行对比检验,发现BP模型好于MOS预报,特别是24h和168h时效的最低温度预报,优势明显。BP神经网络的非线性映射与MOS的线性方法相比,在容错性方面有一定优势。钱莉等^[44]也发现BP神经网络模型不但其预报效果好于最优子集模型,而且对明显的升降温过程反映敏感,能较为准确地预报出升降温的趋势,也能较好地预报出升降温的幅度及极值点,特别对出现的破历史极值的最高最低温度能很好地把握,这在本质上改善了统计方法气温预报受天气形势稳定与否的限制,是一个很大的进步。吴君等也指出^[45]BP神经网络模型的气温预报准确率要高于逐步回归模型,更高于MM5模式本身的预报准确率。

2.3.2 支持向量机方法

统计方法的理论是基于样本数量趋于无穷大的假设,而在实际应用中样本数目通常都是有限的,甚至是小样本,对此基于大数定律的传统统计方法难以取得理想的效果^[46]。20世纪90年代,Vapnik^[47]提出了一种专门针对小样本问题的统计理论,它避免了神经网络等方法的网络结构难于确定、过学习和欠学习以及局部极小等问题,被认为是目前针对小样本的分类、回归等问题的最佳理论。这一方法数学推导严密,理论基础坚实。基于这一理论近年提出的支持向量机(Support Vector Machines简称SVM)方法,为解决非线性问题提供了一个新思路^[48]。

SVM方法的突出优点是基于结构风险最小化归纳原则,而不是传统统计方法的经验风险最小化

原则^[49],表现出很多优于已有方法的性能,但是由于SVM是基于历史数据训练学习的建模方法,使用不同的训练样本、不同核参数得到的预报模型是不同的,如何筛选预报因子、优化参数使得预报模型最优,一直是SVM方法应用的难点,也是该方法使用者关注的问题。SVM通过核函数实现到高维空间的非线性映射,所以适合于解决本质上非线性的分类、回归和密度函数估计等问题^[46],而最常应用温度预报的是SVM分类和SVM回归,其应用效果较好并且取得了大量的应用研究成果。冯汉中等^[50]用SVM方法建立四川盆地内单站气温的回归推理模型并进行相应的预报试验,试验结果显示该模型具有良好的预报能力。郭虎等^[19]利用SVM客观预报方法对北京地区进行逐3h气温预报,预报结果相对于中尺度模式直接输出的数值产品,有了比较明显的改善^[51]。常军等^[52]在应用SVM方法建模预测河南省冬季气温,发现对于温度预报SVM回归优于SVM分类。

2.4 相似预报理论

相似预报方法的基本思路是:假如2个样本的天气形势和气象要素场是相似的,那么它们的天气发展过程也相似^[53]。所以,从众多历史样本中选取与预报日的形势及要素场最相似的样本,把其对应天气发展过程作为预报日的天气预报结论^[54]。虽然基本思路雷同,但由于采用的技术路线不同,其预报效果也不一样,且相似预报的准确率与相似范围密切相关^[55]。连志鸾等^[56]用多级相似—插值方法制作乡镇预报,取得了初步成果。多级相似是先通过寻找形势场相似日,再以场相似日为样本寻找要素也相似的若干相似日,计算其各乡镇最高最低温度与石家庄本站的差值,据此来做未来时段的各乡镇与本站的订正值。该方法具有一定的可行性,但是它没有考虑天气现象分布不均匀造成的气温空间分布差异,需要进一步加以完善。张延庭等^[57]逐步引进因子场做相似预报,首先通过数学模型计算出不同样本之间的气象因子场的相似系数,同时求出表征气象因子场与天气现象之间关系的相关特征量,然后用相似系数和相关特征量作参数,以预报拟合率为判据,逐个引进因子场,组建出最优相似预报方程,且方程的预报性能较稳定。

2.5 集合预报

集合预报思想(Ensemble Forecast)现在已经成为预报预测研究不可缺少的支撑。从最初的仅考虑

初值的不确定性,发展到现在多模式多分析系统的超级集合,集合预报技术的研究取得了长足进步,已经成为国际上公认的具有发展前途的新一代动力随机理论和方法。集合预报理论已成功地应用于中期数值预报和短期气候预测中,它在降水、台风、温度的预报中都有很好的表现。在温度预报中多数值预报模式集合是应用的主流。

国内赵声蓉^[58]基于 T213、德国气象局业务模式和日本气象厅业务模式资料,实现了 2 m 温度的多模式集成,其预报效果明显优于 3 个子模式,但对强降温过程的预报能力比较差。张秀年等^[59]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。熊聪聪^[60]等对 MM5、T213、德国气象局业务模式和日本气象厅业务模式资料建立了单站多模式温度集成预报模型,预报结果比较准确,但尚未应用到区域预报领域。李倩等^[61]对一次完整的冷空气过程进行试验模拟,指出多模式集成预报整体效果好于单个模式,能比较准确地预报出强降温过程,对冷空气中心位置和强度的预报,对温度槽脊移动路径的预报,都与实际情况基本接近,但在不同区域预报效果有较大差别。陈法敬等^[62]指出很多集合预报产品释用技术方法只对集合预报结果进行处理,这使得历史预报资料中的集合预报性能信息没有得到利用,有些虽然利用了历史预报资料但其处理结果不是概率预报并不能反映预报不确定性,并提出温度概率预报方法——叶贝斯输出处理器。

3 气温的精细化预报

所谓精细预报是指提高天气预报在时间精度、空间精度和量级精度上的分辨率,以“定时、定点、定量”地制作天气预报,为政府和社会公众提供多层次、全方位、系列化预报信息^[63]。近年来,随着中尺度数值预报模式在地市级气象台站的普及,越来越多的地方开始开展精细化预报业务,其中由于地面气温的预报具有连续性,方便展开,成为精细化预报探索的重要方向^[15]。孙凤华等^[64]利用沈阳市城区与观象台(郊区)的同步观测资料,分析了两地日最高最低温差的变化规律,得出城郊温差的不规则

变化,采用逐步回归方法建立了沈阳市日最高最低温度的预报方程,并利用城市内的自动观测资料进行对比检验,在预报业务中体现了城市效应对气温预报的影响。

对于气温的精细化预报,采用数值预报的日最高、最低气温值主观地内插出逐时气温^[6,13]或应用日较差分级客观地预报逐时气温,张德山等^[65]根据预报经验,用日较差分级来综合反映难以量化的环流及天气要素对气温日变化的影响,描述温度的日变化,从而制作出逐时气温预报。这些预报方法主要是预报员的主观分析判断和统计分析来完成的,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。张成军等^[67]应用自动站数据和相似回归方法,率先在宁夏制作 24 h 以内逐时预报产品,指出气温预报量的精度在一定程度上是可以保证的,而 48 h 以上或更长时间则不宜过分精细化,过分的精细化会带来预报质量下降、计算量增大等问题。

郭虎等^[19]在为奥运会提供精细化预报服务时,提出一种半周期函数拟合预报方法(Half Periodic Function Fit,简称为 HPFF),预报逐 3 h 的气温,其表现的预报技巧高于 SVM 方法,并且指出对于气温精细化预报,预报员的主观订正预报技巧略高于客观方法,这是因为气温是一个连续变化的气象要素,人工订正可以综合考虑影响温度变化的因子,但同时,预报员制作精细要素预报在很大程度上依靠客观方法。也就是说对于气温,精细化预报需要客观方法的指导,但客观方法无法达到直接发布的水平还是需要人工参与进行订正,特别是客观预报方法的效果在很大程度上依赖于数值模式,随着预报时效的延长数值模式预报结果误差增大,客观精细化方法的表现更是不尽如人意。

陈勇等^[67]介绍了以 T213 预报资料以及常规探空、地面资料为初始条件,利用中尺度区域数值预报模式系统(MM5)开展精细化预报制作的情况。通过中尺度区域数值模式产品输出值与实况值的比较分析发现,精细化预报产品具有明显的参考和指导意义,能报出重要天气过程的转折趋势,即利用中尺度模式做温度精细化预报是值得尝试的方式。郑祚芳等^[68]应用中尺度 MM5 模式,对高温过程进行模拟分析,探讨了北京周边地形及城市下垫面对气温变化的影响。结果表明,城市下垫面通过所获得的感热和释放潜热的不同,进而影响近地面层温度,采

用更加接近真实情况的下垫面数据,能较好地改进模式对逐时气温演变、日最高气温及其出现时间的模拟精度。李欣等^[69]利用一个包含城市冠层效应的 WRF 模式,对长三角特大城市群的夏季气候效应进行了高分辨数值模拟,重点分析了城市群所造成的多城市热岛和地表能量平衡及其日变化特征,为精细化气温预报提供了很好的参考。卢萍等^[70]将成都市精细化下垫面资料引入 Grapes 模式并与城市冠层方案相耦合,进行数值试验,更好地模拟出了陆气之间的相互作用,并且模拟了城市下垫面对大气的能量平衡影响的特点,从而反映出城市化效应对温度降水等预报量的影响,是温度预报的新探索。

对于气温的精细化预报,目前仍是较复杂的科学问题,还在探索更好的方法和技术,其预报水平的提高一方面依赖于数值模式预报产品,数值预报的准确性直接影响到气温预报的准确性,另一方面也依赖于各种客观方法的集成和发展,同时预报员也要充分发挥出自己的主观分析判断能力,在预报业务中综合各种信息,从而得到最为完美的预报结果。

4 总结与展望

(1)影响气温预报的因素多且复杂,客观方法应尽可能地综合各种信息得出预报结果。在现有的数值预报水平下既要发展新的预报方法,也要重视各种方法集成;在发展客观分析方法的同时,也要重视预报员的经验和综合各种信息的能力。

(2)对数值预报的动力释用在气温预报中应用不多,主要的客观预报方法还是以统计为主,由于统计固有的局限性,气温预报的精度和准确度很难有大的提升。若要改进这种情况,就必须了解各种因子影响气温变化的物理过程,加以模拟,以大中尺度数值预报结果为初值场,得到局地温度的最终的预报结果,也就是将动力释用方法应用到气温预报中。

(3)如何应用集合预报思想,将诸如 WRF 或者 Grapes 这样有高质量、高分辨率的区域数值预报产品,以及如何将与预报时空尺度相匹配的观测数据资料,充分应用在气温预报精细化业务中,是一个很值得研究的方向。

参考文献:

- [1] 纳丽,郑广芬,杨建玲. 2008年1月宁夏持续连阴雪低温极端天气气候背景及影响因子[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 202-205.
[2] 姚望玲,陈正洪,向玉春. 武汉市气候变暖与极端天气事件变化

- 的归因分析[J]. 气象, 2010, 36(11): 88-94.
[3] 盛裴轩,毛节秦,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003. 122-154.
[4] 胡玉荣. 新形势下气象科技服务发展的思考[J]. 气象软科学, 2008, 1(3): 20-24.
[5] 魏秀兰,侯艳丽,孔凡中. 菏泽市气温精细化预报[J]. 山东气象, 2004, 24(96): 45.
[6] 胡江林,张德山,王志斌,等. 北京地区未来1~3天昼夜气温预报模型[J]. 气象, 2005, 31(1): 67-68.
[7] 时少英,郭虎,赵玮,等. 精细化预报在2008年8月10日北京奥运会中的应用[J]. 气象, 2008, (34): 252-258.
[8] 李有宏,韦淑侠,王青川,等. 青海省最高最低气温预报方法研究[J]. 气象, 2003, 29(7): 34-37.
[9] 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, 2000. 26-27.
[10] 周后福. 局地温度变化中各项因子的定量估算[J]. 气象, 2005, 31(10): 20-23.
[11] 梁理新,黄国宗. 单站最高最低气温预报方法研究[J]. 广西气象, 2006, 27(增刊3): 4-6, 17.
[12] 陈晓光,丁永红,刘庆军. T63要素预报场与宁夏最高最低气温的相关分析和预报[J]. 地球科学进展, 2010, 25(3): 242-254.
[13] 韩世刚,吉莉,苟思,等. 最高(低)温度PP法预报修正方案的比较研究[J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(3): 66-68.
[14] 陈百炼. 降水温度分县客观预报方法研究[J]. 气象, 2003, 29(8): 48-51.
[15] 韦淑侠. 青海省气温精细化预报方法研究[J]. 青海科技, 2009(3): 46-48.
[16] 宋宽,朱俊峰,戴有学,等. 地市级新业务体制的建立和预报业务流程的研究[J]. 山西气象, 1999, (1): 42-48.
[17] 陈力,曾友仁. 用数理统计学导出的最低温度的客观预报图解法[J]. 宁夏农林科技, 1965, (2): 30-35.
[18] 江宜思. 最低温度预报法[J]. 山东气象, 1979(1): 15-16.
[19] 郭虎,王建捷,杨波,等. 北京奥运演练精细化预报方法及其检验评估[J]. 气象, 2008, 34(6): 17-25.
[20] 薛纪善. 和预报员谈数值预报[J]. 气象, 2007, 33(8): 3-11.
[21] 李孟植. 数值预报及预报员的作用探讨[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(11): 25-28.
[22] 康岚,冯汉中,屠妮妮,等. Grapes模式预报西南地区夏季2m温度的检验评估[J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(2): 26-32.
[23] 陈爱琴. 24~72小时逐日最高、最低温度DMO修正预报的研制[A]. 天气预报方法与业务系统研究文集[C]. 北京: 气象出版社, 2002. 401-404.
[24] Klein W H, Lewis F. Computer forecasts of maximum and minimum temperatures[J]. Appl Meteor, 1970, (9): 350-359.
[25] 余功梅,宋火,茅卫平,等. 用PP法制作中期气温趋势预报[J]. 气象科技, 1999(4): 34-38.
[26] 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[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 181-191.
[27] 李玉华,耿勃,吴炜,等. 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(82): 14-16.

- [28] Facsimile Products, Max/ Min temperature forecasts [Z]. National Weather Service Forecasting Handbook No. 1. US. Department of commerce NOAA National Weather Service, 1979.
- [29] 任宏利, 丑纪范. 统计-动力相结合的相似误差定制法[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 988-992.
- [30] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法(第三版)[M]. 北京: 气象出版社, 2004. 36-50.
- [31] 陈豫英, 陈晓光, 马金仁, 等. 基于 MM5 模式的精细化 MOS 温度预报[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 52-56.
- [32] 李玲萍, 尚可政, 钱莉, 等. 最优子集回归在夏季高温极值预报中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(6): 54-58.
- [33] 汪秀清, 杨雪艳, 石大明. 数值预报产品在夏季持续高温预报中的释用[J]. 气象科技, 2004, 32(S1): 47-49.
- [34] 时兴合, 秦宁生, 赵冰燕, 等. 最优子集回归在青藏高原冬季降水、气温预报中的应用及改进[J]. 气象科学, 2001, 21(2): 222-229.
- [35] 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, 19(4): 41-43.
- [36] 史津梅, 扎西才让, 张吉农, 等. 利用卡尔曼滤波法建立最高、最低气温的逐日滚动预报系统[J]. 青海科技, 2002(1): 40-42.
- [37] 黄嘉佑, 谢庄. 卡尔曼滤波在天气预报中的应用[J]. 气象, 1993, 21(2): 3-7.
- [38] 陈优平, 陆琛莉, 李云泉. 基于 GFS 产品和卡尔曼滤波的嘉兴市温度客观预报[J]. 气象科技, 2009, 37(2): 141-144.
- [39] 吴建秋, 郭品文. 基于统计降尺度技术的精细化温度预报[J]. 中国科技信息, 2009(12): 44-48.
- [40] 俞善贤. 一个着眼于预测能力及稳定性的因子普查方法[J]. 气象, 1991, 17(9): 40-43.
- [41] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 13-47.
- [42] 袁美英, 周秀杰, 陈威. 人工神经网络在温度和降水预报中的应用[J]. 黑龙江气象, 2000(3): 17-19.
- [43] 马学款, 普布次仁, 唐叔乙, 等. 人工神经网络在西藏中短期温度预报中的应用[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 491-495.
- [44] 钱莉, 兰晓波, 杨永龙. 最优子集神经网络在武威气温客观预报中的应用[J]. 气象, 2010, 36(5): 102-107.
- [45] 吴君, 裴洪芹, 石莹, 等. 基于数值预报产品的地面气温 BP-MOS 预报方法[J]. 气象科学, 2007, 27(4): 430-435.
- [46] 陈永义, 俞小鼎, 高学浩, 等. 处理非线性分类和回归问题的一种新方法(I)——支持向量机方法简介[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 345-354.
- [47] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
- [48] 李才媛, 韦惠红, 邓红. SVM 方法在武汉市大雾预警预报中的应用[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3): 264-267.
- [49] 熊秋芬, 顾永刚, 王丽. 支持向量机分类方法在天空云量预报中的应用[J]. 气象, 2007, 33(5): 20-26.
- [50] 冯汉中, 陈永义. 处理非线性分类和回归问题的一种新方法(II)——支持向量机方法在天气预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 355-365.
- [51] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法——支持向量机[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [52] 常军, 李祯, 朱业玉, 等. 基于支持向量机(SVM)方法的冬季温度预测[J]. 气象科技, 2005, 33(增刊): 100-104.
- [53] 张万诚, 沙文生, 等. 一种差值相似方法作温度预测的应用研究[J]. 气象科学, 2001, 21(2): 241-245.
- [54] 陈焱, 沈伟. 利用 ECMWF 数值产品作 24~72 小时暴雨预报的动力相似方法[A]. 暴雨业务预报方法和技术研究[C]. 北京: 气象出版社, 1995. 66-71.
- [55] 张延亭, 单九生. 影响相似预报效果的几个因素[J]. 江西气象科技, 1997, 20(3): 12-14.
- [56] 连志鸾, 李国翠, 卞韬, 等. 基于多级相似一差额方法制作乡镇气温预报[J]. 气象, 2008, 34(5): 113-117.
- [57] 张延庭, 单九生. 逐步引进因子场作相似预报[J]. 气象, 2000, 26(3): 21-27.
- [58] 赵声蓉. 多模式温度集成预报[J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 52-57.
- [59] 张秀年, 曹杰, 杨素雨, 等. 多模式集成 MOS 方法在精细化温度预报中的应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 67-71.
- [60] 熊聪聪, 王静, 宋鹏, 等. 遗传算法在多模式集成天气预报中的应用[J]. 天津科技大学学报, 2008, 23(4): 80-84.
- [61] 李倩, 胡邦辉, 王学忠, 等. 基于 BP 人工神经网络的区域温度多模式集成预报试验[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 231-235.
- [62] 陈法敬, 矫梅燕, 陈静. 一种温度集合预报产品释用方法的初步研究[J]. 气象, 2011, 37(1): 14-20.
- [63] 时兴合, 秦宁生, 赵冰燕, 等. 最优子集回归在青藏高原冬季降水、气温预报中的应用及改进[J]. 气象科学, 2001, 21(2): 222-229.
- [64] 孙凤华, 班显秀, 张文兴. 沈阳市城市效应对气温的影响及气温预报方法[J]. 气象, 2001, 27(9): 35-38.
- [65] 张德山, 窦以文, 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.
- [66] 张成军, 陈豫英, 牛建军, 等. 宁夏固原市精细化天气订正预报方法和制作平台[J]. 宁夏工程技术, 2009, 8(2): 105-108.
- [67] 陈勇, 江海生, 郭荣芳, 等. 利用 MM5 开展精细化预报业务[J]. 广西气象, 2005, 26(增刊 I): 94-96.
- [68] 郑祚芳, 王迎春, 刘伟东. 地形及城市下垫面对北京夏季高温影响的数值研究[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 672-676.
- [69] 李欣, 杨修群, 汤剑平, 等. WRF/NCAR 模拟的夏季长三角城市群区域多城市热岛和地表能量平衡[J]. 气象科学, 2011, 31(4): 441-450.
- [70] 卢萍, 陈章. 成都市精细化数值模式研究及试验[J]. 高原山地气象研究, 2008, 28(4): 50-54.

(下转第 464 页)

- 1986,2(2):36-41.
- [8] 陶云,段旭. 云南降水正态分布特征的初探[J]. 气象科学, 2003,23(2):161-167.
- [9] 胡文东,陈晓光,李艳春,等. 宁夏月、季、年降水量正态性分析[J]. 中国沙漠,2006,26(6):963-968.
- [10] 方建刚,毛明策,程肖侠. 陕西降水的正态分布特征分析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2009,39(1):131-136.
- [11] 王纪军,任国玉,匡晓燕,等. 河南省月和年降水量正态性分析[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):522-528.
- [12] BOX G, COX D. An analysis of transformations[J]. The Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1964,26(2):211-252.
- [13] HILL I, HILL R, HOLDER R. Fitting Johnson curves by moments [J]. Applied Statistics, 1976,25(2):180-189.
- [14] CHOU Y, POLANSKY A, MASON R. Transforming non-normal data to normality in statistical process control[J]. Quality Technology, 1998,30(2):133-141.
- [15] SLIFKER J, SHAPIRO S. The Johnson system: Selection and parameter estimation[J]. Technometrics, 1980,22(2):239-246.
- [16] MANDRACCIA S, HALVERSON G, CHOU Y. Control chart design strategies for skewed data[A]. Process, Equipment, and Materials Control in Integrated Circuit Manufacturing II [C]. USA Austin;TX, 1996. 196-205.
- [17] 梁小筠. 正态性检验[M]. 北京:中国统计出版社,1997.
- [18] 国家标准局. GB/T4882-1985 正态性检验[S]. 北京:中国标准出版社,1985.
- [19] LILLIEFORS H. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown[J]. The American Statistical Association, 1967,62(318):399-402.

Comparative Analysis of the Normal Transformation Methods about Annual Precipitation

CHEN Xuejun¹, SU Zhongyue², LI Zhonglong¹, HAN Tao³

(1. Meteorological Information & Technique Support & Equipment Centre of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. College of Mathematics and Statistics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: For the annual precipitation data, non-homogeneity test and climate statistical analysis directly will lead to considerable errors, so at first it needs to choose appropriate normal transform method. In this paper, based on precipitation data from four typical stations (Dingxi, Dounhuang, Zhenyuan and Wudu station) in Gansu province, the normal transform methods about Box-Cox transformation and Johnson transform to non-normal data were adopted. The result shows that both the Box-Cox transformation and Johnson transformation made precipitation data close to normal distribution, and the Johnson transformation was better than the Box-Cox transformation about normal transformation effect to abnormal data.

Key words: Gansu province; precipitation; normal transformation; statistics test

.....
(上接第 458 页)

Advance in Research and Application About Temperature Forecast Method

XUE Zhilei¹, ZHANG Shuyu²

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 210044, China; 2. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China)

Abstract: As we know, temperature forecast is important to the weather prediction. Advance in research and operational application of temperature forecast methods is briefly reviewed in this paper. All the mentioned methods have been contrasted and estimated, and a new fine forecast idea is pointed out which can be used as a reference on improving the operational forecast of temperature.

Key words: temperature forecast; method; progress; fine forecast