

# 我国精细化客观气象要素预报进展

赵声蓉 赵翠光 赵瑞霞 曾小青 邵明轩

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

**摘要:** 国家气象中心2007年以来在MOS预报方法业务应用、降水预报效果改进、综合集成预报以及精细化气象要素预报业务流程建设等方面取得了一定进展, 同时上下对接的精细化气象要素预报业务流程建立和集约化的预报技术开发应用促进了精细化气象要素的发展。以国家气象中心精细化气象要素客观方法在业务中的应用情况为主, 总结了近年来精细化客观气象要素预报方法的研究进展, 以及业务应用和精细化气象要素预报业务流程建设的情况, 并对未来精细化气象要素预报技术方法的研究进行了展望。

**关键词:** 精细化气象要素预报, 数值预报产品释用, 客观预报方法

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.002

## The Development of Objective Meteorological Element Forecast in China

Zhao Shengrong, Zhao Cuiguang, Zhao Ruixia, Zeng Xiaoqing, Shao Mingxuan

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** In this paper, the development in research of objective meteorological element forecast and operational application were summarized through the operation of the National Meteorological Center. A future plan was also described.

**Keywords:** meteorological element forecast, interpretation of NWP products, objective forecast method

### 1 引言

随着社会的发展, 各行各业对气象服务的需求越来越多, 要求也越来越高, 期望气象部门能提供在时间和空间更为精细、预报更为准确、要素更为多样化的天气预报产品。在这样的形势下, 精细化客观气象预报的支持是必不可少的, 因此基于数值预报产品释用技术的精细化客观预报在气象预报业务中越来越重要。

数值预报产品释用顾名思义就是对数值预报产品的进一步解释和应用<sup>[1]</sup>, 具体来说就是利用统计、动力、人工智能等方法, 综合预报经验, 对数值预报的结果进行分析、订正, 最终给出更为精确的客观要素预报结果或者特殊服务需求的预报产品。精细化气象要素客观预报技术目前来说就是针对气象要素预报的数值预报产品释用技术, 就是不同分辨率的数值预报产品基础上, 结合大量的历史观测资料以及各种稠密的实况资料, 利用各种统计、动力等预报分析方法建立预报模型, 从而得到客观的预报结果。

美国是开展数值预报产品释用技术研究较早的国家, 20世纪50年代末进行试验, 60年代末模式输出统计 (Model Output Statistical, 简称MOS) 预报方法进入业务运行, 其他发达国家也相继开展了MOS和PP方法的试验或业务运行。到目前, 用于业务系统的预报方法主要有MOS方法、相似预报方法、动力方法及卡尔曼滤波方法等。

我国数值预报产品释用的研究试验开展相对比较晚, 这和我国数值预报发展较晚有关。但是我国气象工作者经过多年的努力, 在数值预报产品解释应用技术方面取得了很多的研究成果, 并在实际的预报业务中得到了应用, 取得了很好的效果。在各级台站的数值预报产品释用中, 应用比较多的方法有MOS方法、卡尔曼滤波方法、相似方法以及神经网络方法。例如, 冯汉中等<sup>[2]</sup>用卡尔曼滤波方法预报四川盆地的面雨量, 所用的预报因子为ECWMF的模式结果, 试验结果表明, 卡尔曼滤波方法对面雨量从无到有的转折性预报有参考价值; 林开平等<sup>[3]</sup>利用相似方法制作广西暴雨落区预报, 所采用的数值预报结果为ECMWF和T106的模式输出结果, 从环流形势、影响系统、物理量分布以及动力和热力演变相似的角度选出相似的历史个例, 从而估算出每个站发生暴雨的可能性, 包含了可能出现暴雨台站的区域即为暴雨落区; 孙田文

收稿日期: 2012年5月20日; 修回日期: 2012年7月4日

第一作者: 赵声蓉 (1969—), Email: zhaosr@cma.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目“基于贝叶斯统计理论的降水集合预报概率化方法研究”; 公益性行业 (气象) 科研专项“地形复杂地区的MOS预报效果改进方法研究” (GYHY201106010)

等<sup>[4]</sup>基于T106数值预报产品通过神经网络方法建立了铜川地区降水等级预报系统,业务运行结果表明该方法的降水等级预报达到比较高的精度;杞明辉等<sup>[5]</sup>强调了反映环流特征的因子在客观要素预报中的作用;张华等<sup>[6]</sup>把变分方法应用到统计方法中,利用最新的观测资料来不断修正MOS预报方程的系数,表明经过修正后的MOS预报方程可以改善预报效果;陈永义等<sup>[7]</sup>、冯汉中等<sup>[8]</sup>把SVM应用于四川盆地分片的面雨量预报,取得了很好的效果;刘还珠等<sup>[9]</sup>、赵声蓉等<sup>[10, 11]</sup>介绍了国家气象中心客观预报系统的预报效果及其预报方法的改进。

这些年来,我国气象工作者虽然在数值预报产品释用技术的研究方面取得了明显的进展,但在2007年之前,业务应用和相关业务流程建设工作基本上处于零散的状态,没有形成规模化、集约化的研究开发和应用,重复工作较多。2007和2008年中国气象局分别实施的业务建设项目“精细化气象要素预报业务系统”和“天气要素精细(乡镇)预报业务系统建设与改进”,使得基于数值预报产品释用技术的气象要素预报取得了很大进展,尤其是全国上下对接的精细化气象要素预报业务流程初步建立,并经过近年来的不断改进和完善,在预报业务和对外服务中起到了重要的作用。

## 2 精细化气象要素预报方法及研究进展

数值预报产品释用的方法很多,大体上可分为以下四类:一类是模式直接输出方法,也就是通常所说的DMO方法;一类是统计释用方法,包括常用的MOS方法、PP方法、卡尔曼滤波方法等;一类是人工智能方法,包括神经网络方法、相似方法等;还有一类就是天气学方法释用。下面分别介绍几种最常用方法在业务中的应用情况及其研究进展。

### 2.1 DMO 预报方法

DMO方法就是通过插值把格点上的模式要素预报结果分析到具体的站点,得到站点上的要素预报。对于不是模式直接输出的要素,采用经验公式计算得到。DMO方法最大的优点是不需要建立预报方程,甚至相同的程序可以应用于不同的模式,可以获得任意多站点的预报结果,同时可以得到任意的要素预报结果,对于非模式直接输出的量,可以通过其他量诊断得到;而DMO的缺点在于对模式误差没有订正能力,预报精度完全依赖于模式,相对于形势场预报模式对要素预报的精度往往不是很高,这些因素决定了DMO预报效果不是很好。

在业务应用中,由于DMO具有其他方法不可替代的优势,尽管其预报效果有一定的局限性,近年来

仍然是精细化气象要素预报业务中的一个重要方法,因此在传统的DMO方法基础上寻求一些改进以便能够提高DMO预报效果仍是很重要的。

国家气象中心针对温度等与地形高度关系密切的要素进行了地形高度误差订正,原因是模式地形高度和实际地形高度有较大差异。高度订正的方法是根据要素随高度变化的特征,扣除由于模式地形高度和站点实际高度差异所引起的误差。对于温度预报,最简单的方法是利用地形高度每增加100m温度下降0.6℃的温度递减率,在插值时把参与插值计算的格点温度先订正到站点高度上再进行插值。

图1是基于T639模式的2011年9月全国2500个县级台站平均的最高温度预报平均绝对误差和误差在2℃以内站次百分比的对比,其中“T639\_DMO”为未经高度订正的预报结果,而“T639\_DMO\_订正”为经过高度误差订正的预报结果,订正方案如上所述。从图1中可以看到,从24h预报到120h预报,订正后的预报效果都好于未经高度订正的预报,其中平均绝对误差减少最高达到13%,最少也达到5%左右。从误差小于2℃站次的百分比(正确率)看,订正前只有24和48h预报达到50%以上,而订正后24~96h的预报都达到了50%以上,其中24h预报准确率达到了61%,而订正前是52%。最低温度(图略)订正前后预报误差对比情况和最高温度一致。

国家气象中心关于DMO方法的另一改进是预报偏差订正,利用最近的观测资料计算近期的预报误差,并近似作为预报系统误差在后面的预报中进行扣除,可以明显提高预报效果。具体的订正方法是利用近期的实况观测资料分站点、分时效计算预报平均误差,在每天的预报中减去预报误差。为了避免极端情况的影响,在进行偏差订正时,预报误差乘以一个系数,该系数取0~1.0之间的值,值越小,预报误差的影响越小,订正效果越小;值越大,预报误差的影响越大,订正效果越大,但极端情况的影响也就增大。

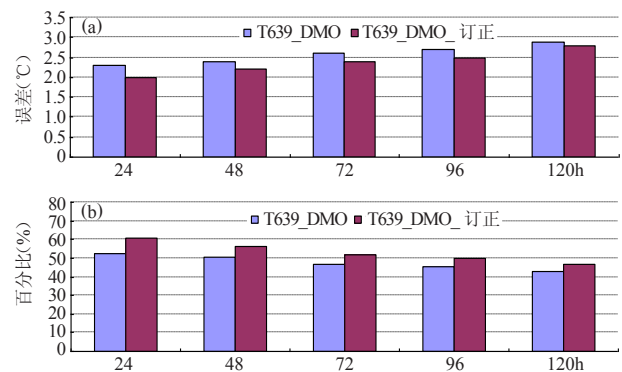


图1 2011年9月全国2500站平均的T639\_DMO最高温度预报平均绝对误差(a)和温度误差2℃以内站次百分比(b)

图2为2012年全国平均最高温度和最低温度预报平均绝对误差对比, DMO为经高度订正但是未经预报偏差订正的预报, DMO订正为高度订正后又经预报偏差订正的预报(预报偏差订正系数取0.8, 预报误差计算时段以实况观测为基础, 为当天到前推30d, 预报结果时间段根据实况时间和预报时效计算)。从图2中可以看到不管是最高温度预报还是最低温度预报, 经过预报偏差订正后, 预报误差都有明显的下降。如果把订正后误差与订正前误差的差值除以订正前的误差看做是预报效果提高率的话, 则最高温度预报效果的提高率在13%~35%之间, 而最低温度预报的提高率则在15%~30%之间。可见经过预报偏差订正后预报效果有了明显的提高, 预报效果的提高同样反映在预报准确率(预报误差2℃以内站次百分比)的提高上(图略)。

前面给出了DMO预报中高度误差订正和预报偏差订正的例子, 但只是针对温度预报, 原因是在日常的要害预报中, 大家更关心温度预报, 因而对温度预报的处理方案研究更多一些的缘故。其他预报要素同样可以通过高度误差订正或者预报偏差订正来提高DMO的预报效果, 但需要注意的是不管模式高度误差订正还是预报偏差订正, 需要针对不同的要素、不同的季节、不同的区域进行研究分析和试验, 寻求最佳的订正方案。

在高度误差订正中, 温度的垂直递减率是很重要的, 虽然有的研究表明温度的垂直递减率在-0.6℃/100m左右, 但在一些特殊的情况下可能会有所不同, 如何来计算不同时间、不同地点准确的温度垂直递减率并应用到高度误差订正中? 其他与地形高度有关的要素, 例如风如何来订正? 这些都是需要

进一步研究的问题。在预报偏差订正中, 降水等不连续变量如何进行订正? 该选用多长时间来计算预报误差? 不同时间在计算预报误差时是否采用相同的权重? 不同的季节、区域是否需要分别考虑? 这些问题都还需要进行大量的分析研究。

## 2.2 MOS 预报方法

MOS预报方法是指在模式预报的基础上结合实况观测资料通过统计方法建立预报模型, 并在此基础上给出预报服务需要的预报结果。它是业务应用中的主要方法, 在国家气象中心和很多的省级业务部门都有应用。MOS方法包括回归、判别、聚类等多种统计预报方法, 但由于多元回归方法在实际业务中应用更为普遍, 所以MOS方法更多的时候是指多元回归方法。

近年来, 国家气象中心以T639-MOS预报系统开发为依托, 针对MOS预报方法在业务中的应用情况, 从多方面开展了改进预报技术、提高预报效果的工作, 下面就这些方面的工作进行介绍。

### 2.2.1 MOS 预报因子初选方案的影响

在近年的MOS预报业务实践中, 出现两种对温度预报尤为突出的异常情况。其一, 预报方程建立过程中很正常, 试报结果也很正常, 但在实际预报中误差则很大, 通常都在5℃以上, 甚至是10℃以上, 导致预报完全不可用。尽管出现这种情况的站点不多, 一般在1%左右, 但还是严重影响了业务。针对这种情况, 以往通常的做法是, 在预报方程替换之前, 进行试报, 找出这些异常站点的方程, 以其他站点方程进行替换, 并反复检查。但是这种做法并不能从根本上解决问题。其二, 虽然资料很完整, 但是无法建立预报方程。

针对这些问题, 经过对比分析试验发现, 引起这

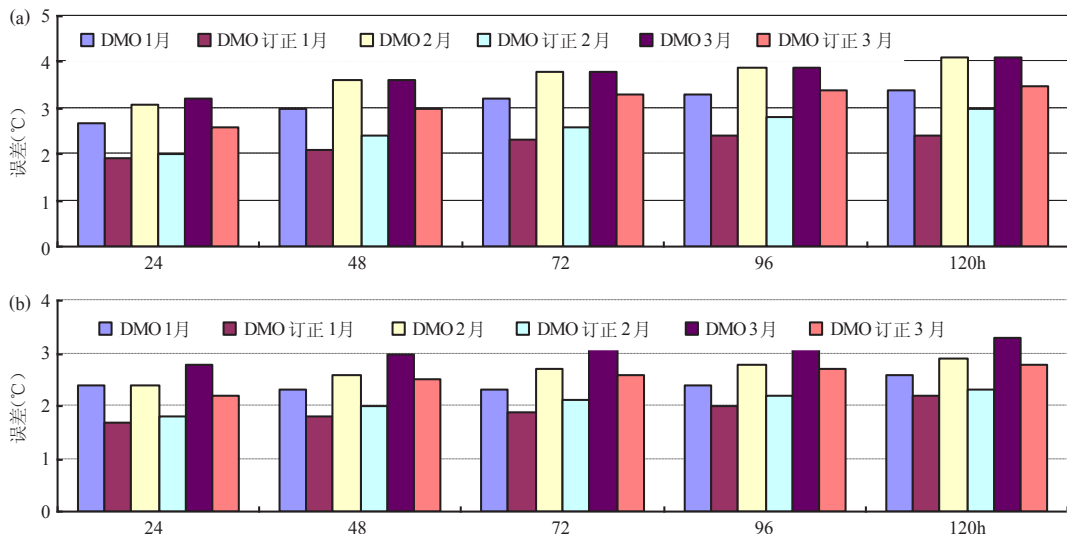


图2 2012年全国平均的T639\_DMO最高温度 (a) 和最低温度 (b) 预报平均绝对误差

些问题的原因是MOS预报因子初选方案中未考虑因子之间的相关性。在MOS预报中,由于预报因子较多,基于计算量等原因的考虑通常是在大量的基本因子基础上采取一定的方式选取一定数目的因子进入到回归过程,再由逐步回归选取最优的因子组合建立预报方程,这个过程称为因子初选。以往的因子初选方式是先计算所有因子与预报要素的相关,从中选出相关系数较大的200~300个因子进入到回归过程。由于因子初选的过程中只考虑了因子与预报要素的相关性,而忽略了因子之间的相关性,有可能出现进入回归过程的因子代表性较差,因子类别过于集中,使得回归过程无法得到较好的因子组合,从而造成了上面提到的两种异常情况。这种情况在温度等预报因子与预报要素关系较为密切的预报方程中较为突出,而在降水等预报要素与模式预报因子相关性相对差一些的预报要素方程中则不那么明显。

基于以上的考虑,在试验分析的基础上改进了原来MOS预报业务应用中的因子初选方案:方案一,如果因子间相关性过大,即使两个因子都与预报要素有较好的相关(因子之间的相关大于因子与要素之间的相关),也只选取其中之一进入回归过程;方案二,对于降水等要素,由于要素与预报因子之间的相关性较弱,当预报因子与要素的相关系数绝对值小到一定的程度,如果还采取上述方案容易把一些有用的预报因子剔除,影响预报效果。因此针对降水等要素,确定一个因子相关性临界值,只要因子之间相关性不超过该临界值,就可以不考虑它们之间的相关性,从而确保因子多样性。通过以上的修改和调整,上述两种异常情况得到了很好地解决。

### 2.2.2 MOS 预报中的季节划分问题

MOS预报中的一个基本问题是建模时段的选取,一般来说需要选取天气背景相似的历史样本建立预报方程才可能得到好的预报效果,因此从理论上来说建模时段分得越细,建模样本的天气背景越接近,预报模型的效果也会越好,但是又会引起建模样本较少、

预报模型不稳定的情况,因此要在这两个问题中寻找平衡。通常的做法是分春、夏、秋、冬四季或者冬、夏半年来建立预报方程,而在日常业务中春、夏、秋、冬四季建立预报模型应用更普遍。接下来的问题就是利用传统的春、夏、秋、冬四季划分方式来建立预报方程是否最适合MOS预报呢?

为了回答上述问题,在T213模式资料的基础上,通过客观聚类方法,利用高空形势场进行季节划分试验。具体的做法是利用2003—2008年的模式资料对所有的样本进行聚类分析,分为四类对应一年四季。分析结果发现,冬、夏没有很大变化,春、秋两季则被分为两段,其中春季和秋季靠近夏季的两段被分为一个季,而靠近冬季的两段则被分为了一个季<sup>[12]</sup>(图3)。

在前面聚类分析的基础上,分别就传统的四季和新的季节划分方案进行MOS预报效果差异的试验,对比方案如下:

- 方案一:选择传统的四季划分方式,分别为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12月—次年2月)。
- 方案二:按照聚类分析的结果,划分新四季,分别为新春季(2月11日—3月20日和11月5日—12月4日)、新夏季(5月1日—9月30日)、新秋季(3月21日—4月30日和10月1日—11月4日)、新冬季(12月5日—次年2月10日)。

利用2003—2008年的资料分别建立预报方程,对2009年相应的时间段进行试报,以下是试报结果的检验分析。

因为新的季节划分与传统的季节划分方式的主要区别是春季和秋季的划分,所以以2009年3—5月和9—11月这两段时间作为代表进行检验,分析两种不同的季节划分方案对MOS温度预报效果的影响。

图4给出的是两种季节划分方案的最高温度和最低温度预报平均绝对误差。可以看到,除3—5月最高温度外,3—5月最低温度以及9—11月最高和最低

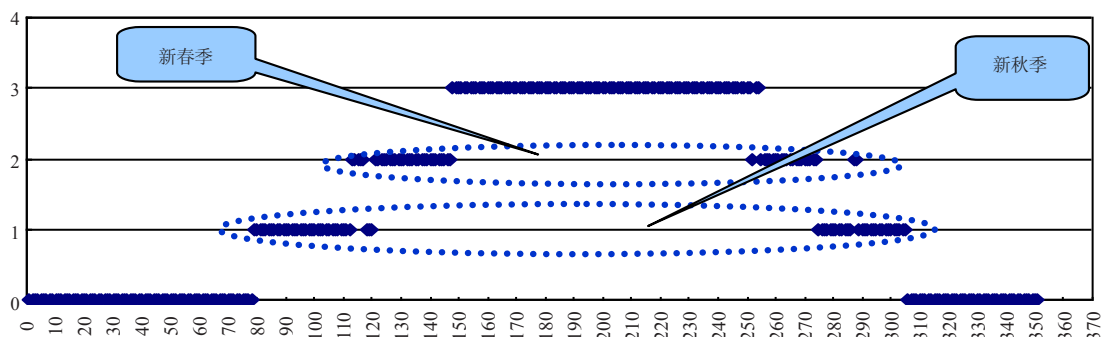


图3 利用聚类方法得到的一年四季的划分方式(横坐标为一年365天,纵坐标为划分的四个类别,对应一年四季)

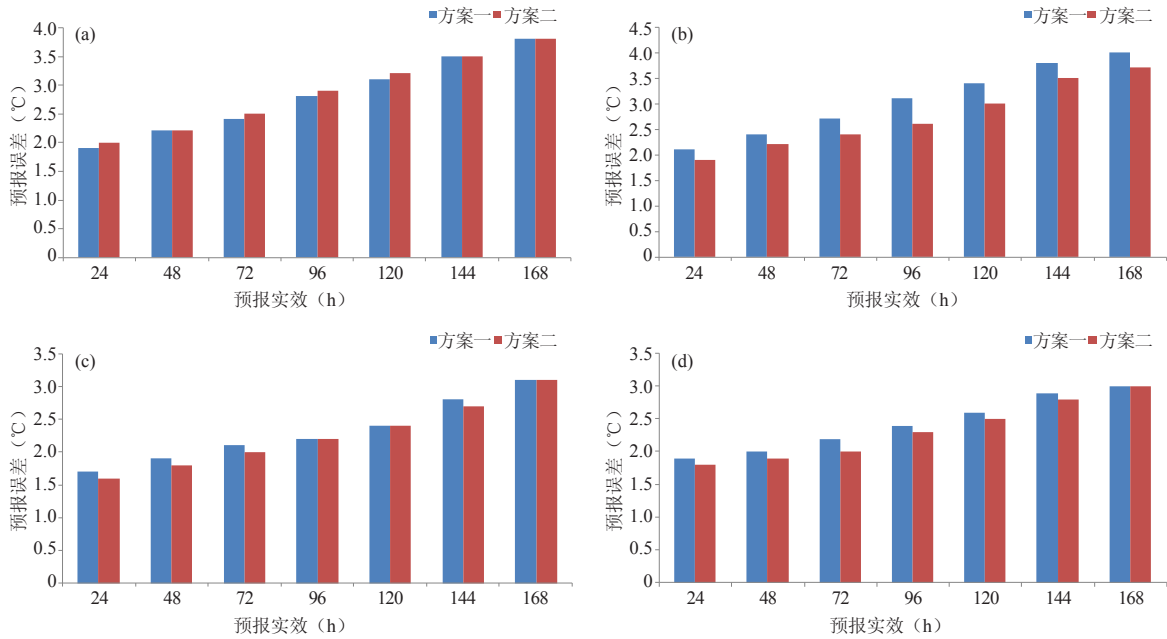


图4 2009年3—5, 9—11月最高温度和最低温度预报的平均绝对误差  
(a) 3—5月最高温度预报, (b) 9—11月最高温度预报, (c) 3—5月最低温度预报, (d) 9—11月最低温度预报

温度预报结果都显示方案二的预报误差小于方案一, 尤其是9—11月最高和最低温度预报误差有明显的下降; 3—5月最高温度预报, 方案二误差等于或者略大于方案一, 但是差异不大。因此从整体上看, 方案二的误差小于方案一。方案一和方案二误差都随时效增加而增大, 这与实际的预报经验一致。绝对误差小于等于2°C站次百分比与误差具有一致的结论。

以上分析表明用新的季节划分方式, 预报误差总体上小于传统的季节划分方式下的预报误差, 预报绝对误差在2°C以内站次百分比大于传统的季节划分方式。由于新的季节划分方式通过客观的方法把形势场更为相似的样本划归为一类, 在此基础上建立的预报模型具有更好的预报效果, 因此新的季节划分方式更适应于MOS温度预报。

### 2.2.3 基于概率回归的降水等级预报

在国家气象中心和部分省台MOS预报中, 原来的降水预报采取分级建立预报方程, 预报结果为不同等级降水有无的方案。具体预报方案(以下称S1)是: 小雨预报模型直接以降水量作为预报对象, 在建立预报方程的同时选取样本拟合中使得小雨TS评分达最大的方程拟合值作为判别值, 在实际预报中预报量大于(小于)该判别值则预报有(无)小雨; 对于中雨预报方程, 把原始样本中小于中雨样本的预报量重新赋为0, 中雨以上的预报量则保持原来的值, 处理之后建立预报方程, 同时确定样本拟合中使得中雨TS评分达最大的方程拟合值为判别值, 在实际预报中, 预报量大于(小于)该判别值则报有(无)中雨, 其他量

级的预报方程依此类推。最终的预报结果通常是选取所有量级预报中出现的最大量级, 或者采取逐级判别的方法等到最终预报结果。在实际预报中, 该方案的降水预报效果较差, 尤其是雨区预报范围较大。

基于概率回归估计的降水等级预报(以下称S2)是把预报量看成随机事件, 把事件出现与否转化为0, 1化的二值变量, 再通过逐步回归方法建立与预报因子之间的概率回归方程, 实时预报时根据预报因子计算出事件出现的概率估计, 同时可以进一步借助辅助方法确定出事件发生的概率判别值, 从而得到事件发生与否的预报结果, 确定判别值的方法与S1一样<sup>[13]</sup>。

在T213模式预报和我国测站00Z 24h降水量的基础上, 分别就S1和S2方案利用2004—2008年夏季(6—8月)资料建立预报模型, 以2009年夏季进行试报, 图5给出了全国平均两种方案预报TS评分, 结果显示方案S2比方案S1有较好的预报效果。

进一步通过预报因子分析和引入样本方差贡献的概念, 发现回归降水等级预报方法在建立小雨预报方程的样本中, 少数较大降水量的样本方差占总方差的百分比过大, 导致预报方程中反映的预报量与预报因子的关系以这些少数大降水量的样本为主, 而在一定程度上忽视了大量小降水量样本的作用, 是造成小雨预报空报过大的原因, 而概率回归降水等级预报方案避免了这样的问题。

### 2.2.4 区域建模方法改进小概率事件预报效果

统计预报中, 小概率事件预报是难点, 如何改进

其预报效果,是气象工作者一直研究的问题。区域建模方法是在气候分区的基础上,把变化规律相近的站点放在一起,建立一个公共的预报方程,相当于增加了小概率事件的建模样本。预报的时候同一区域内站点采用同一方程,由于预报因子的值有所不同,所以仍然可以得到各自站点不同的预报结果。

在区域建模中,首先需要得到有针对性的气候分区。国家气象中心利用旋转经验正交函数分解方法对华北地区夏季降水进行区划,得到七个分区。在分区结果和T213模式的基础上,利用2006—2008年6—8月资料分别建立单站和分区的预报方程,对2009和2010年6—8月进行试报,检验结果表明区域建模与单站建模相比具有明显的优势,而区域建模与模式直接输出相比,在大量级降水上优势明显<sup>[14]</sup>。然后又在T639模式的基础上,对降水相对较少的西北地区进行了同样的对比试验,利用2007—2010年(缺2008年)6—8月的资料建立预报方程,对2011年6—8月的试报结果进行了检验,与单站建模相比,区域方程预报效果明显提高。同时与模式降水预报结果(DMO)进行了对比分析,由TS(图6)评分来看,各时效和各量级上区域建模均比DMO有所提高,其中小雨预报在180h的预报时效内,相对于DMO提高10%以上,其中36h预报评分由0.44提高到0.53,提高18%,说明在模式预报的基础上,区域建模的降水预报效果有明显提高。

在分区试验的基础上,通过旋转经验正交函数分解方法得到我国四季降水分区,并建立了基于T639模

式的降水MOS分区建模试验系统,实现实时运行。图7为夏季降水的MOS预报气候分区,由于是针对数值预报产品释用的气候分区,与传统意义的气候分区相比更为细化,但是大的趋势是一致的。

### 2.2.5 多模式 MOS 降水集成预报

多模式集成预报能够综合多个模式的优势,得到更为稳定的预报效果。国家气象中心在德国、日本、T213模式基础上,通过MOS预报方法开展多模式降水集成预报试验。检验结果表明集成后的降水预报效果好于单个模式预报,该预报系统实时运行预报结果传送到会商服务器供预报员参考使用。图8为2009年5—9月的预报结果检验评分。

### 2.3 其他预报方法

除DMO和MOS预报方法外,相似预报方法、神经网络方法(ANN)、支持向量机等方法(SVM)也在不同的业务中使用。

相似预报中除了要有好的预报因子外,判别相似程度的相似性度量选取是一个十分重要的方面,罗阳等<sup>[15]</sup>就相似预报方法中的相似性度量进行了对比分析,结果表明相似度实际上是与欧氏距离、海明距离相似的量,它只能反映两个样本空间的距离,而不能准确反映出形状和强度。而相似量与相关系数更为接近,它与形状和强度有关,与空间距离无关。在实际应用中较好的方法是先确定相似选择的时间窗口,以确保样本平均值大体相同,再应用反映形状和强度的相似量进行相似选择。

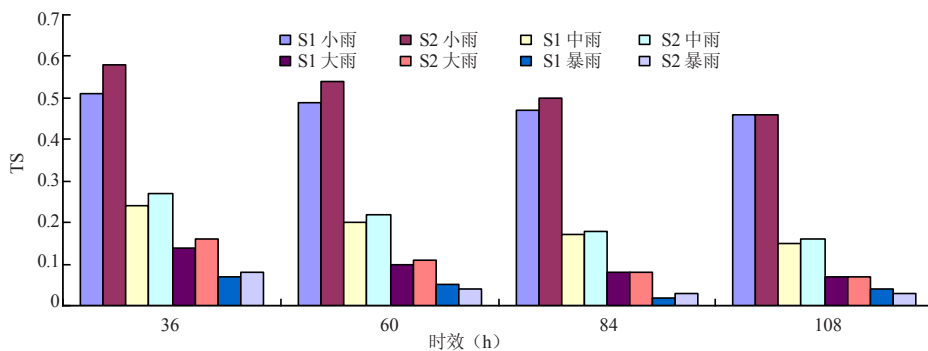


图5 2009年全国平均的夏季降水TS评分

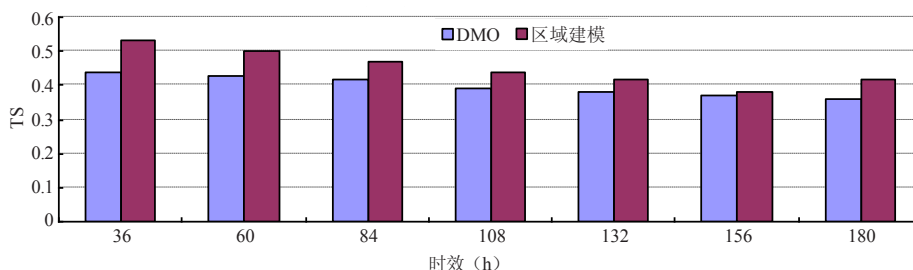


图6 西北地区2011年夏季降水(小雨)TS评分(DMO为模式直接输出预报,区域建模为MOS区域建模预报)



图7 我国夏季降水的MOS预报气候分区  
(不同的颜色代表不同的分区)

BP网络方法是使用最多的人工神经网络方法，闵晶晶等<sup>[16]</sup>根据BP网络在实际应用中网络结构参数难以确定、训练易陷入局部极小等问题，提出了一种改进的BP算法，采用学习参数和网络参数在训练过程中自动调整、确定最优参数的方法，经过江淮流域降水的预报试验表明，改进后的BP算法相比传统的BP算法预报效果有显著的提高。

### 3 综合集成预报及精细化气象要素预报业务流程建设

#### 3.1 综合集成预报

综合集成预报方法包含两个方面的内容。一是在多个预报结果的基础上，通过一定的数学方法建立预报模型，也就是把单个预报结果作为预报因子，在此基础上建立预报模型，在预报时，输入单个的预报结果，从而得到最终的预报结果。这一般要求每个预报必须有一定时间长度的预报结果用于预报模型的建立，这其实和前面提到的预报方法没有本质的区别，只不过输入的预报因子是不同的预报结果。

综合集成预报的另一个内容是在要素不完全相同、时效不完全相同、预报站点不完全相同的预报结果的基础上，通过一定的准则来进行合成，使得最终

的预报结果是唯一的。这种方法产生的原因是，业务部门往往有多种客观预报产品，但这些预报产品不能直接提供给预报员使用，增加预报员的工作强度，所以要在提供给预报员之前合成每个站点、每个时效、每个要素唯一的预报产品。另外，不同的方法其预报结果有不同的特点，比如DMO方法几乎可以得到模式范围内任意点的预报，但是预报效果相对差一些；MOS等方法预报效果相对较好，但预报方程的建立需要依赖一定时间长度的实况观测资料，使得它的预报具有一定的局限性。而在实际的预报业务中需要有完整体系的预报结果，这就要求综合多个预报结果，并尽可能吸收好的预报信息来满足实际预报服务的需要。

国家气象中心采用在DMO，MOS预报结果的基础上结合主观订正预报的方法，事先对预报结果进行优势排序和检验结果优选相结合的方法合成最终的预报结果，在多个预报产品进行集成后进行各种协调一致性处理，最终形成国家气象中心的指导预报产品，提供给各种专业服务、各级业务部门参考使用。协调一致性处理主要包括要素和时效之间的协调处理，长短时效之间的协调一致性处理等，处理的目的是使得预报结果更合理、有效，提高预报产品的可用性。

#### 3.2 T639 精细化气象要素综合集成系统

国家气象中心在T639-MOS和T639-DMO等预报的基础上建立了精细化气象要素综合集成预报系统和流程，实现业务化运行。图9为综合集成预报示意图。在综合集成预报结果的基础上，通过时效外推、协调一致性处理生成国家气象中心精细化气象要素指导预报产品。

#### 3.3 精细化气象要素预报业务流程

国家级精细化气象要素预报业务流程：国家气象中心在规定的时间内一天两次提供县级台站的指导预报产品，该预报产品通过国家级预报产品数据库（NWFD）下载到各级业务部门（LWFD），省或地市级业务部门在参考国家级指导预报产品的基础上结

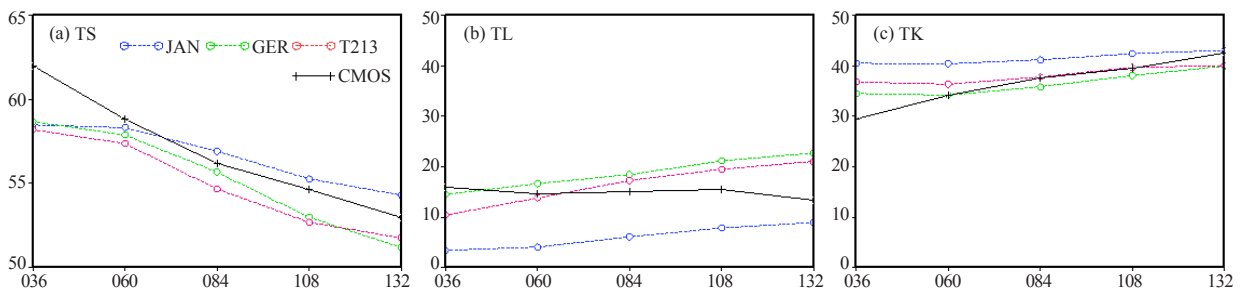


图8 2009年5—9月全国有无降水预报的TS评分(a)、漏报率(b)和空报率(c)  
(图中蓝色虚线为日本模式，绿色虚线为德国模式，粉色虚线为T213模式，黑色实线为集成MOS预报)

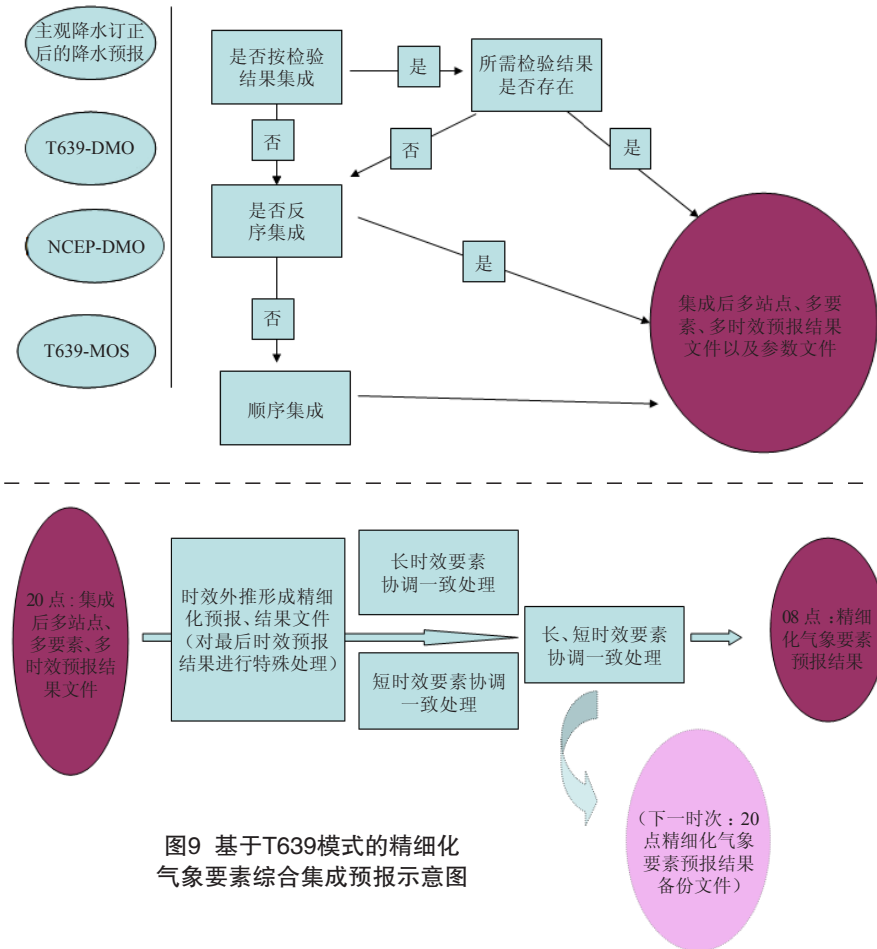


图9 基于T639模式的精细化气象要素综合集成预报示意图

组织数值预报产品释用技术方法的研究，但多为项目行为，在实际预报业务中的应用并不普遍。近年来，系统性的预报技术研究开发和实际业务应用得到了很大发展。在中国气象局基建项目的支持下，建立了国家级的精细化气象要素预报业务流程，明确国家气象中心为下级台站提供县级台站的精细化气象要素预报指导预报产品，各级业务部门在此基础上结合其他预报产品进行订正，其预报结果返回到NWFD，并提供各级业务部门使用。国家气象中心也在原有的基础上进行改进完善，建立了精细化气象要素指导预报业务系统。

与MDL的差异在于，国家气象中心不仅开发了MOS预报系统，而且在多个预报系统的基础上进行综合集成和各种一致性的处理，形成唯一的指导预报产品提供预报员参考使用，同时为网站等提供主观订正以外的预报产品补充。

合本省的其他预报产品进行订正，订正后的预报产品通过LWFD或其他方式上传到NWFD，NWFD合成后的最终预报结果供各级用户调用。图10为国家级精细化气象要素预报业务流程的示意图，图中实线部分表示已经业务化应用，虚线部分为准业务化或者部分试用。国家级精细化气象要素预报业务流程的建立基本解决了原来不同业务部门对外服务产品的不一致性问题。

## 4 与美国客观气象要素预报的比较

### 4.1 业务应用的比较

MDL是美国气象要素预报业务开发应用的负责部门，MDL关于MOS预报方法的研究应用开始于20世纪60年代，在60年代末投入业务应用，MOS预报一直是美国气象要素预报业务中的唯一方法。经过多年的研究应用，MDL在MOS预报方法的因子处理、技术方案改进等方面有了非常细致深入的研究。在业务应用中，MDL针对不同的模式开发各自的MOS预报系统，预报产品提供各级业务部门使用，并在相关的网站发布。

国家气象中心预报系统开放实验室负责国家级的精细化气象要素指导预报业务。20世纪80年代开始

### 4.2 MOS 预报的比较

#### 4.2.1 预报要素

MDL的MOS预报要素很多，包括：日最高和最低气温、定时气温和露点温度、天空总云量、地表风向和风速、降水概率、降水等级、雷暴概率和强雷暴概率、降雪等级、云底高度、能见度等级等。

国家气象中心的MOS预报系统目前是基于T639模式的，预报要素有最高、最低温度，最大、最小相对湿度

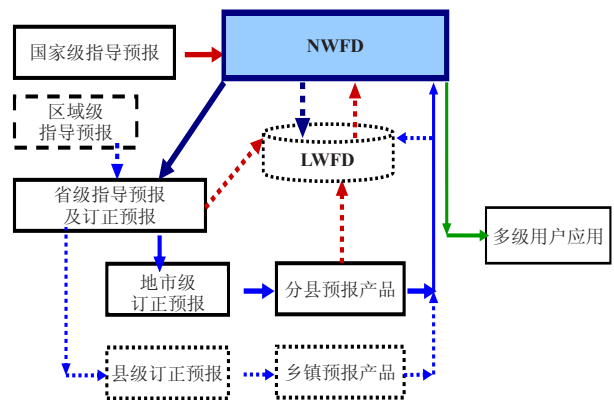


图10 国家级精细化气象要素预报流程示意图

度, 24h基于概率预报的降水等级, 以及定时定点的温度、相对湿度、风向风速、云量等级和能见度等级。

与MDL相比, 我国的MOS预报产品相对比较单一, 尤其是没有针对特殊天气和强天气的预报产品, 云量和能见度等要素的预报也不够完善, 需要进一步改进。

#### 4.2.2 MOS 技术的特点

美国MOS预报主要有以下几个方面的特点:

(1) 区域建模方法。针对不同的要素, 把具有相似或者相近特性的站点划分为一个区域, 每个区域建立一个预报方程, 该预报方程适用于区域内所有的站点。对于降水、雷暴等要素, MDL采取了区域建模的方法, 而温度等要素则还是采用单站建模的方法。

(2) 多个预报要素同时建立预报方程。单个要素分别建立预报方程可能在实时预报时出现预报要素不一致的情况, MDL对一些关系比较大的要素采取同时建立预报方程的方法, 使得这些要素具有相同的预报因子, 从而避免要素之间的一致性问题。但为了选取共同的因子组合, 可能会使得因子组合对单个要素不一定是最优的, 对预报效果有一定的影响。

(3) 格点化的MOS预报及地理信息应用。格点化的MOS预报本质上是在站点预报的基础上通过一定的分析方法得到格点上的MOS预报结果, 因此格点化的MOS预报核心问题是分析方案和比较准确的具有一定空间密度的站点MOS预报。MDL格点化MOS预报采用的是由Bergthorssen和Doos提出, 并由Cressman在实际中应用的逐步订正的插值分析方法(简称BCD), MDL在此基础上进行了改进, 主要考虑了不同下垫面的影响、高度订正等, 改进后的BCD重新命名为BCDG, 以示区别。格点化MOS预报的网格距是2.5km, 分析过程中涉及到细致的下垫面性质等很多地理变量, MDL利用地理信息系统来得到这些量。同时在区域建模中地理信息可以作为预报因子进入到方程中。

由于实际业务的需求不同, 国家气象中心格点化的客观气象要素预报目前还处于试验研究阶段。

国家气象中心的MOS预报:

(1) 回归和概率回归方法的应用。与美国一样, 国家气象中心采用逐步回归和概率逐步回归方法分别进行连续变量和不连续变量的预报。在预报因子中除了模式输出的基本量外, 还计算了大量的物理量作为预报因子进入到回归过程, 结果显示这些预报因子对预报效果的改进具有明显的效果。

(2) 开展要素客观分区和区域建模方法应用。利用客观方法进行我国降水的客观分区, 并进行降水

区域建模试验, 取得了一定效果。下一步除了通过气候因子、物理量空间结构特征等因子的加入, 等级判别值方案的改进等方面完善降水区域建模外, 还将开展区域强对流等区域建模方法的研究应用。

(3) 开展多模式MOS集成预报的应用研究。多模式的MOS预报可以综合多个模式的优势, 相比单一模式在预报的稳定性上具有一定的优势。开展多模式MOS降水集成预报, 试验已取得较好的效果, 正在进行业务化运行的准备。

(4) 反映物理量场空间结构特征因子的应用。MOS预报中预报因子的处理一般是通过插值到站点, 缺少能够反映物理量空间结构特征的信息, 而这类信息对降水等对环流形势、物理量空间结构比较敏感的要素是很重要的, 通过增加大气环流特征量、经验正交函数分解等方法提取反映物理量空间结构特征预报因子, 进行相关试验。下一步进行完善改进, 并逐步应用于MOS预报业务系统, 提高预报效果。

从上面初步的对比可以看到, MDL的MOS预报和国家气象中心的MOS预报从本质上是一致的, 但是MDL预报要素更多, 针对性更强, 而国家气象中心在MOS预报方面取得了一定的成果, 并且在业务应用中发挥了作用, 但还有许多方面的工作需要进一步完善, 尤其是在预报要素的丰富程度和一些特殊要素以及极端天气的针对性处理技术方面还存在很明显的差距。由于各自业务流程的差异, 国家气象中心的客观气象要素预报相对于美国而言也具有自己的特点和优势。

## 5 精细化气象要素预报展望

经过多年的研究和试验, 精细化气象要素预报方法已有了较大进展。国家级精细化气象要素预报业务流程的建立更是进一步推动了气象要素预报的发展, 基于数值预报产品释用技术的精细化客观气象要素预报取得了比较好的效果, 并在预报业务中发挥了重要的作用。但纵观整个精细化气象要素预报, 还存在很多需要改进和发展的地方。

(1) 精细化气象要素客观预报产品中, 部分要素的预报效果比较令人满意, 例如最高、最低温度和相对湿度等。但有些要素预报效果不是很理想, 例如云量、降水量、降水类型、能见度等特殊要素, 以及沙尘、大雾、强对流天气等天气现象, 可以说天气现象这个要素是最难预报的。目前, 在大多数的客观预报中, 天气现象还只考虑了晴雨预报, 这是远远不够的, 需要开展深入的针对特殊天气、强天气的客观预报方法的研究, 并应用到实际的预报业务中以完善精细化气象要素预报体系, 提高预报效果, 加强精细化客观气象要素预报在实际预报业务中的支撑作用。

(2) 多个预报产品综合集成以后的协调一致性处理方案还需要进行更深入的研究,使得综合集成后的预报产品更合理、更有效。另外,气象要素之间的协调一致性处理,可以利用预报效果较好的要素预报信息修正预报效果相对较差的要素,提高其预报服务的效果。

(3) 集合预报产品在精细化客观气象要素预报中应用的研究还很少。集合预报产品具有单一预报所不具备的大量的预报不确定性信息,集合预报产品在精细化客观气象要素预报中的应用有助于提供更完备的要素预报信息,对于开展概率预报具有重要的意义。

(4) MOS方法等在业务中应用最多的预报方法本身还有可改进的空间,主要在预报因子的处理、预报因子信息的增加、预报方案的细化和改进等,尤其是在目前预报效果不是十分理想的降水、风向风速等要素的预报上,还可以开展多方面的研究试验工作,从而达到提高预报效果的目的。

(5) DMO预报中针对不同要素的预报偏差订正方案,还需要进行更多的深入分析研究,形成有针对性的最优方案,并在业务中应用。

(6) 客观气象要素的预报仍以统计方法为主,缺少动力因素的考虑。对于一些强天气、极端天气的预报应当结合动力诊断、天气分析和统计预报方法来提高预报效果。

希望通过气象科研人员坚持不懈的努力,使精细化气象要素预报技术方法更加完善,精细化气象要素

预报效果能够不断提高,在现代天气预报业务中发挥更大的作用。

#### 参考文献

- [1] 国家气象中心.数值预报产品应用指南.北京:气象出版社,1991.
- [2] 冯汉中,李万昌.卡尔曼滤波方法在四川盆地地面雨量预报中的应用.四川气象,2001,76(2):13-17.
- [3] 林开平,郑宏翔,董良森.用数值预报产品根据相似法制作广西暴雨落区预报.广西气象,1999,20(2):1-5.
- [4] 孙田文,纪建军,胡淑兰.用数值产品作分县分级降水预报.陕西气象,2000,(2):12-13.
- [5] 祀明辉,肖子牛,宴红明.一种改进的考虑环流特征的MOS预报方法.高原气象,2003,22(4):405-409.
- [6] 张华,叶燕华.利用最近资料改进MOS预报的方法.高原气象,2003,22(2):128-131.
- [7] 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.应用气象学报,2004,15(3):345-354.
- [8] 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.应用气象学报,2004,15(3):355-365.
- [9] 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.应用气象学报,2004,15(2):181-181.
- [10] 赵声蓉.多模式温度集成预报.应用气象学报,2006,17(1):52-58.
- [11] 赵声蓉,裴海英.客观定量预报中降水的预处理.应用气象学报,2007,18(1):21-28.
- [12] 车钦,赵声蓉,范广洲.华北地区极端温度MOS预报的季节划分.应用气象学报,2011,22(4):429-436.
- [13] 赵声蓉,赵翠光,邵明轩.事件概率回归估计与降水等级预报.应用气象学报,2009,20(5):521-529.
- [14] 赵翠光,赵声蓉.华北及周边地区夏季分区降水客观预报.应用气象学报,2011,22(5):558-566.
- [15] 罗阳,聂新旺,王广山.几种统计相似方法的适用性比较.气象,2011,37(11):1143-1147.
- [16] 闵晶晶,孙景荣,刘还珠,等.一种改进的BP算法及在降水预报中的应用.应用气象学报,2010,21(1):55-62.

## 新书架

### NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆阅览室阅读或凭索书号借阅



《气象灾害丛书——台风预报及其灾害》

编著者:陈联寿等  
出版者:气象出版社  
出版年:2012  
索书号:P429/170/21



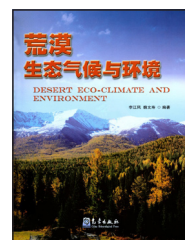
《省级地方政府气象灾害专项应急预案汇编》

编著者:中国气象局应急管理办公室  
出版者:气象出版社  
出版年:2012  
索书号:P429/219



《室内可吸入颗粒物理化特征及毒理学研究》

编著者:邵龙义等  
出版者:气象出版社  
出版年:2012  
索书号:P402/116



《荒漠生态气候与环境》

编著者:李江凤,魏文寿  
出版者:气象出版社  
出版年:2012  
索书号:P941.73/9