

# 业务数值预报产品应用中的问题

朱永湜 杨美川

(上海市气象科学研究所)

## 一、引言

近几年来，随着业务数值预报工作的不断发展，人们关于其产品应用价值的认识亦正在逐步加深。同时，数值预报作为一种客观、定量的预报方法也越来越受到台站预报员的重视。在这推广、应用数值预报产品的时期，研讨一下数值预报产品应用中的一些问题，对于从中获取更多有效的预报信息，充分发挥数值预报的使用价值，使我们在日常预报业务工作中获得切实的经济效益，看来是十分必要的。

在近三十年的发展中，业务数值预报的产品已从单一的形势场预报扩展到具体要素预报，如气温、风、降水量、云量等等；从时效来看，亦已由1—2天的短期预报发展到中期(10天)预报。此外，也还有专业性的数值预报产品，如台风路径预报、大气污染预报、风暴潮预报等等。可以说是品种多样，各有特色。限于条件，本文仅着重讨论形势场预报应用中的一些问题。

## 二、产品的误差分析

数值预报模式目前还不可能全面、正确地描述大气中的各种过程，同时又不可避免地会在模式求解过程中产生计算误差的积累，以及由于观测资料的精度和密度不足所带来的问题，凡此种种都是导致数值预报产品具有一定误差的原因<sup>[1]</sup>。在这种情况下，恰如其分地评价数值预报产品的误差，就可以使我们更好地应用其产品，避免盲目性。

关于数值形势预报质量的评价可从两方面去进行。首先，从应用角度看，针对气压

系统(如槽、脊、副高、切断低涡等)的预报偏差(如移速、强度、发展趋势等偏差)进行统计分析，获得一个对各种系统预报平均偏差的定量概念显然也是有益的<sup>[2-4]</sup>。但对于台站预报来说，这些还是不够的。显然，台站预报员在日常应用数值形势预报过程中，针对本地区的重要影响系统在不同类型的形势背景下进行偏差统计分析，从实用意义来看，就更为重要，这是人-机结合修正数值预报的基础，应予以足够的重视。

另一方面，从验证的总要求来看，常用的方法有：按格点预报值求均方根误差、S<sub>t</sub>技术评分、相关系数等。这些评分参数对于各种模式预报功能的相互比较，对于一种模式在不同季节的预报能力对比都是有益的。此外，如果以持续性预报水平作为衡量模式预报水平的基准，求平均绝对误差的差值图也是一种可采用的方法。即以模式预报各格点的平均绝对误差与相应格点的持续性预报的平均绝对误差(实际上就是变高绝对值的平均)相减，作出这种差值的分布图(姑且称之为模式预报技术水平分布图)。设 $\phi_P$ 为某格点的等压面预报高度，而 $\phi_0$ 为该点该等压面高度的实际值(或客观分析值)，则差值可按下式计算：

$$\Delta E = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N [|\phi_P - \phi_0|_K - |(\phi_0)_K|]$$

式中K为样本日期序号，N为统计平均的次数。作为例子，我们在图1、2中分别给出1982年4月三层初始方程模式<sup>[5]</sup>和上海五层原始方程模式<sup>[6]</sup>的500毫巴24小时预报

技术水平分布，其中五层模式预报系准业务试验(每周二次)的结果。4月份共9次预报，因此还不能作肯定的对比结论。但由图1、2可见，在低纬地区和高原上、下游地区，模



图1 1982年4月三层模式500毫巴24小时预报的技术水平分布



图2 1982年4月五层模式500毫巴24小时预报的技术水平分布

式的预报技术水平相对于持续性预报而言是极低的，而对于高纬西风带，尤其是五层模式对于东北、华北北部地区，则有相当的预报能力。由此可见，我国南方台站在4月份应用此类模式的形势预报时应持慎重态度。此外，也可以看出，南方台站在应用MOS方法作要素预报时，如取格点高度预报值作模式输出因子显然不如北方台站有利，值得深入探讨。

应用此类方法，我们可以对各种产品作出不同季节的预报技术水平分布，这对于产品使用者来说，我们认为是有价值的。

### 三、产品的统计分析

业务数值预报所采用的模式均在不同程度上进行了简化，所以，预报产品的应用者有时并不一定能从理论的角度去解释、应用其产品。实践表明，预报降水区、预报上升运动区与实际降水区之间并不一定存在对应关系。这就存在位于预报降水区内或者处于上升运动区的地方发生降水的概率，以及在预报下沉运动区不发生降水的概率，究竟有多大的问题，也就是如何有效应用这些预报产品的问题，这就需要各地区针对当地的天气情况分别对预报产品进行统计分析，获得一个关于预报模式在本地区应用时参考的背景材料。

以下，我们试以上海地区的秋雨预报问题为例，列举两种分析方法。首先，我们以

有雨和无雨两类不相容天气进行分类，作分类平均图分析来讨论产品的价值。

我们取1978—1981年9月16日至11月20日间三层初始方程模式的210个数值预报产品作为统计分析的样本，分别对上海58个有雨(始日20时至翌日20时的降水量大于0.0毫米)和152个无雨(包括微量)的样本子集的各种产品进行时间平均运算，即取预报时段有雨和无雨样本(前一日08时为起始时刻)的18、24、30小时预报产品分别求其平均值。图3分别给出有雨(58例，为实线)和无雨(152例，为虚线)样本700毫巴24小时预报高度的平均分布。由图可见，对于上海地区而言，700毫巴预报形势对于有无秋雨是有明显区别的，在有雨情况下，副高特征线(316位势什米)已伸展到福建沿海，上海地区上游为偏西南气流控制，而无雨情况下，平均为西北西气流控制。

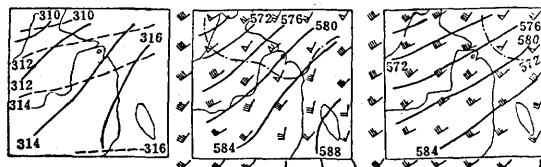


图3 700毫巴有雨(实线)、无雨(虚线)类24小时预报高度及风矢平均分布

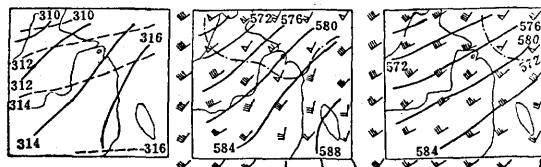


图4 500毫巴有雨(a)、无雨(b)类预报高度及风矢平均分布

图4a、b分别为有雨和无雨情况下500毫巴24小时预报高度及风矢的平均分布。在有雨情况下(图4a)，预报平均形势为：副高特征线(588位势什米)伸展到台湾海峡，闽、粤一带为偏南风控制，山东、江苏、浙北的预报风速大于20米/秒。在无雨情况下(图4b)，副高的588线较偏南，大陆上均为偏西风控制，大于20米/秒的强风区已退缩至我国东部外海。上述显著的差别对于应用数值形势预报显然是有帮助的。

图5a、b分别为有雨和无雨类500毫巴24小时预报相对涡度( $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ )的平均分布，对比之下，预报相对涡度平均分布的可区分性也是明显的。在有雨情况下(图

5a)，涡度零线基本上在长江两岸，长江以南为负值区，梯度较大，小值区位于东海，极值为 $-12.8$  ( $10^{-5}$ /秒)，正涡度区在渤海和河北南部，这反映上海处于低涡东南部。而在无雨的情况下(图5b)相对涡度零线位置有明显区别。在 $120^{\circ}\text{E}$ 以西，零线处于黄河附近，在 $120^{\circ}\text{E}$ 以东，处于 $30^{\circ}\text{N}$ 附近。正涡度大值区在济州岛附近，这反映上海恰恰处在预报低涡的后部。

18、30小时预报的相对涡度平均形势基本上与24小时相似(图略)，只是可以看到正涡度大值区是逐渐东移的。

至于低空(850毫巴)的预报涡度分布，我们只给出24小时预报(图6a、b)。图6a为

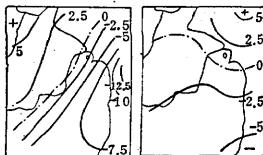


图5 有雨(a)、无雨(b)  
类500毫巴24小时  
预报相对涡度平  
均分布

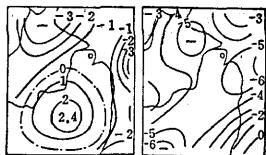


图6 有雨(a)、无雨(b)  
850毫巴24小时预报  
相对涡度平均分布

有雨样本的预报相对涡度平均分布，由图可见，除了江苏南部和浙江东部外，长江中、下游以南均为正涡度控制，中心在江西的西南部。而无雨情况下(图6b)则相反，除计算区东南角点平均为正涡度值外，其余均为负涡度控制，中心位于广西东部、苏北和东海南部。这种平均分布形势与上海地区天气是相适应的。至于717毫巴24小时预报“垂直速度”( $\frac{dp}{dt}$ )的平均分布，由图7a可见，有雨情况下，上海地区周围均处于上升运动区，但极值在浙江及东海，达到 $-29.9$  毫巴/小时。由图7b我们看到，无雨情况下，上海也处于预报上升运动区，但数值不大，下沉区在浙、赣、闽等省。由此可见，如果直接应用上升运动作为降水预报的前提条件就很可能引起失误，而有了上述统计分析作为背景材料，就可能避免这种误解，有助于产品价

值的发挥。因此，作为数值预报产品的应用者来说，对于产品的统计分析应给予足够的重视，各地区针对不同天气或要素对数值预报产品进行分类分析，制作适用于本地区的各种产品的分类平均图，以提供应用时参考是有意义的工作。

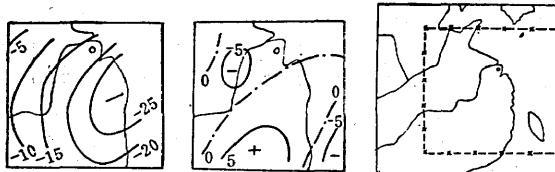


图7 有雨(a)、无雨(b)  
717毫巴24小时预报  
垂直速度平均分布

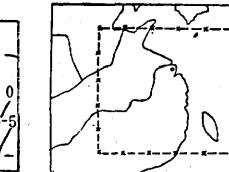


图8 统计分析的格点范  
围。实线框为起始场，虚线框为预报场

其次，我们对上海邻域500和850毫巴24小时预报以及对应的起始高度距平格点场(预报场为 $6 \times 6$ 格点，起始场为 $8 \times 8$ 格点，见图8)分别进行自然正交函数分解，即

$\phi^*(x, y, t) = T(t) \cdot X'(x, y)$ ，式中 $\phi^*$ 为高度距平， $T(t)$ 为振幅函数， $X'$ 即自然正交函数。并分别计算各分量振幅 $T_i(t)$ 与上海降水量的相关系数 $r_i$ ，然后按下式分别求出起始分布、24小时预报与预报时段内上海降水的总相关(| $r_i$ |的加权平均)： $R = \sum w_i |r_i|$ ，其中 $w_i$ 为各分量相关系数的权重 $w_i = \lambda_i / \sum \lambda_i$ ， $\lambda_i$ 为第*i*个特征值。

我们认为，用上述R可以在相当程度上表征场的分布特征与某种预报量之间的相关程度。附表所列为850、500毫巴起始场和24小时预报场正交分解各分量振幅 $T_i(t)$ 与上海秋雨日降水量(1978—1981年间9月16日至11月20日)的相关系数绝对值和总相关。由附表数值可见，预报场的总相关比起始场总相关为大，这表明，应用数值形势预报图作降水预报比根据起始场用天气图方法作降水预报具有较大的成功率。此外，由附表的R值对比可见，850毫巴24小时形势预报与降水量关系更为密切。当然，这仅是对上海秋雨的情况，对于不同的预报对象，在不同地区不同季节将会有不同的结果。

附表 起始场、预报场正交分解各分量振幅与上海秋雨降水量相关系数

		分量序号 <sup>i</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R
项												
850毫巴	起始场	0.1358	0.1642	0.0545	0.1036	0.1174	0.0544	0.3029	0.0472	0.0019	0.1194	
	W <sub>1</sub>	0.37	0.27	0.19	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01		
	24小时预报场	0.2477	0.0555	0.1398	0.1086	0.1278	0.1527	0.2389				0.1851
	W <sub>1</sub>	0.60	0.18	0.12	0.03	0.02	0.01	0.01				
500毫巴	起始场	0.813	0.1551	0.1052	0.0693	0.0828	0.1377	0.0103				0.0889
	W <sub>1</sub>	0.75	0.11	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01				
	24小时预报场	0.0814	0.2756	0.1749	0.1138	0.0549						0.1021
	W <sub>1</sub>	0.83	0.10	0.03	0.01	0.01						

#### 四、产品的统计解释

从前述情况可以看出，数值预报产品，尤其是气压形势预报对于地方台站预报具体天气，只能提供形势背景场的指导，其实际效益不仅取决于数值预报产品本身的正确率，而且也取决于应用这些产品的预报员的经验，这种经验已非天气图预报经验，而是长期使用同一数值模式产品积累起来的经验。这样就使数值预报产品的应用价值在相当程度上取决于使用者，因而也就不可避免地会有主观性，这就产生对数值预报产品进行统计解释的问题。

在业务数值预报发展的早期，就有人提出对数值预报产品进行统计分析，以此寻求当时数值预报尚未提供的预报对象的预报方法。例如，用模式输出量作预报因子，经回归分析，求取测站降水量，最高、最低气温等预报方程，这就是所谓的模式输出统计预报方法。当时，作为数值预报的一种补充方法自然颇受欢迎。此后，由于考虑到不同程度上简化模式的产品均含有误差，因此对其直接提供的预报对象亦有必要进行统计解释，以此部分地消除模式所固有的系统性误差。当然，是否能达到确切解释的目的，获得预期的效果，在很大程度上取决于对所选择的模式输出因子是否适当，同时亦取决于对数值模式预报产品长期使用积累起来的经验是否可靠，如果不加分析，不加选择地凭借逐次回归或其它筛选方法去“盲目”地构造预报方程，往往会导致事倍功半的后果，

显然是不经济的。实际上这种做法是对统计解释的片面理解。比较稳妥的办法是，首先对数值模式的物理方面和对产品误差所作统计分析方面有一定的了解，并在应用数值预报产品经验的基础上，有针对性地对模式输出量进行相关分析，对大于相当置信水平下相关系数判别值的因子进行相关分析，为使因子具有相对独立性，应选择相关较小者为好。此外，考虑到模式的某些缺陷，例如干模式中未考虑水汽或者湿模式中未充分考虑水汽作用等，则应选择与水汽有关、与层结稳定性有关的实时资料或其它天气因子与模式输出因子相结合，构造二维或多维的概率因子，这样可以在一定程度上将非线性相关作用考虑到统计解释方程中去。

在对要素预报进行统计解释中如何将预报场的特征引入统计解释方程中去也是值得研讨的问题。用自然正交函数分解预报场，取若干主分量的时间系数作为预报因子，这是一种值得进一步试验的提炼形势预报场特征的方法〔2〕。

用回归分析解释数值要素预报固然已获得了较广泛的应用，但毕竟不是唯一的方法。我们还可以在实践中尝试引用其它方法，才能不断提高效果。

当前，气压场形势的数值预报对于地方台站的具体天气预报还是很重要的依据。因此对其误差进行统计订正也是有价值的。用各种方法对形势预报进行的误差订正实际上也是一种对数值预报产品的统计解释，在这

方面，国内外亦有了一些工作可供借鉴。

对上述问题的讨论，只是基于我们几年来工作中的一些肤浅认识，在此提出，只是希望引起重视而已。

### 参 考 资 料

〔1〕朱永提、程戴晖，气象，1981年10期。

- 〔2〕上海市气象局预报组数值预报小组，大气科学，1976年1期。
- 〔3〕武汉中心气象台等，第二次全国数值天气预报会议论文集，1980年。
- 〔4〕朱永提、季明珠，气象科学技术集刊，1983年。
- 〔5〕陈雄山等，数值预报和数理统计预报会议文集，1974年。
- 〔6〕郭永润、朱永提、季明珠，第三次全国数值预报会议文集，1981年。