

第九讲 数值预报产品在天气预报中的利用

朱抱真

(中国科学院大气物理研究所)

一、引言

天气预报的发展方向是客观、定量、迅速地提供准确的预报；根据流体动力学、热力学方程建立的数值预报，已成为当代天气预报的主流，这已被三十多年的历史所证实^[1]。现在愈来愈多的国家建立了数值预报业务，提高了预报水平。

随着现代科学技术的发展，数值预报已从简单的地转涡度方程模式，发展到复杂的包括各种物理过程的原始方程模式，这种模式预报的产品相当丰富，包括三维大气的风、高度、温度、湿度，以及垂直运动、降水和海平面气压系统等。

数值预报在当前虽有很大的进展，但对异常复杂的天气变化的预报能力仍然是有限的。由于模式大气的物理过程还不能完全反映真实的大气过程；模式大气方程组的数值积分还不够精确；同时整个大气的观测资料还很不均匀、也很不完全。这都会影响数值预报的准确度，给预报员应用数值预报产品时带来了困难。因此近年来人们注意了对于数值预报产品的“解释和使用”问题。

上述问题在我国尤为重要，因为我国地理范围很广，有着世界上最高大的青藏高原，南部处于很低的纬度；同时我国现在的电子

计算机的能力尚小，这就使得在建立数值预报业务时难度更大一些。北京气象中心现在的业务预报模式还只能提供一些初步的产品，这些产品无论在数量上，还是在质量上都存在一定的问题，如何更有效地利用这些产品，提高天气预报水平，推动我国天气预报业务的发展，是一个很重要的问题。国外建立数值预报业务较久，在产品利用上已有许多工作经验。本文参照这些工作经验，结合我们的情况提出一些意见，供大家参考。

二、大型天气过程

长波的调整和演变是大型天气过程预报的主要对象，包括大范围的长波形势的调整，槽脊线的位置，气流的走向，急流和锋区的分布和系统的强度等。目前一般的北半球多层次模式对大范围长波2、3天的变化都有相当的预报能力。但是由于模式性能、资料来源和客观分析的缺陷，使得预报和实况总有一定的误差。但我们可以对这些误差进行统计分析，从而对数值预报产品作必要的订正。

1. 平均误差图的利用

当我们积累了一定数量的预报图以后，就可以将每天的预报和实况值作比较求出误差值，在一定季节或月份作算术平均，得到平均误差图。一般这种图上的误差分布，在空间上是大尺度的，其量级是有意义的，说明每日误差有一定的系统性，并和地理区域

紧密联系。它的来源主要是由于模式对大地形和加热等固定地理区域的扰源作用反映得不好，或者有的地区由于资料的原因，造成系统误差。

例如图 9.1 是北京气象中心北半球业务模式在 1981 年 9—10 月预报实验时，24 个个例的平均误差图^[2]。可以发现分布的特点如下：

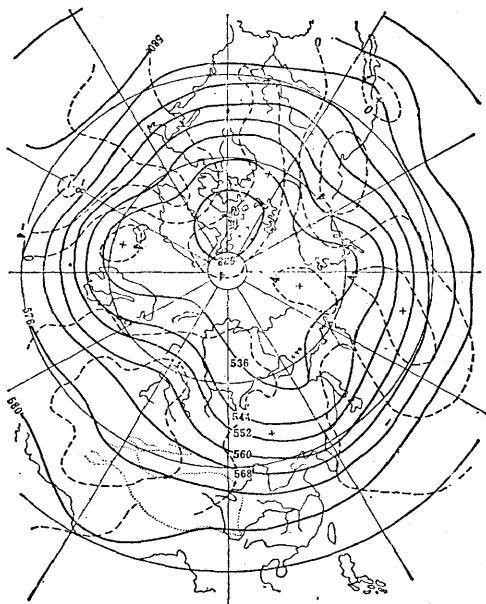


图9.1 500毫巴平均误差图 虚线为误差，实线为平均高度实况

(1) 东亚大槽、美洲大槽和两个大洋槽区都出现正偏差；

(2) 从里海到贝加尔湖的亚洲地区和北美东岸的脊区出现明显的负偏差；

(3) 极区出现弱的正偏差。

上述的误差和准定常的平均槽脊有密切关系，平均误差大约为 ± 4 位势什米。

2. 误差统计资料的应用

大尺度形势的数值预报模式经常在系统移动速度方面偏慢，这主要由差分方程计算的截断误差所造成。对大量的低压槽或高压脊的移速误差作统计，对所得的统计结果再进行分析，可以作为产品使用时重要的参考

项目。北京气象中心北半球业务模式的 120 个西风槽移速平均每天偏慢 4.2 个经度。

槽脊振幅或闭合高压、低压的中心强度的预报误差，也可以作出统计资料，这种误差要比系统移速误差复杂。

因此预报员首先要有上述的平均误差分布和误差统计的背景概念，考虑对形势预报的修改。

3. 考虑预报模式已知的特征误差

由于一个预报模式不能精确反映实际大气所出现的各种各样的发展形式，因此不是对任何系统的变化都能作出确切的预报。随着预报图的数量增多，我们从日常应用检查中会不断地总结出一个模式性能的特征误差。例如现在我们发布的北半球业务模式对横槽的崩溃大多是预报成功的，但对横槽建立的预报，则不如崩溃的预报；对阻塞高压闭合环流以及切断低压的形成则很少有预报能力。

副热带和西风带上的短波槽也常常报得不好，这可能是由于现在的模式水平和垂直分解都较粗，不能很好地描写这类波动。当副热带和西风带偏南时，波动（即南支槽）的预报性能特征还不清楚。在预报员应用这些产品时，对模式性能上已知的特征缺陷要加以考虑。

4. 利用最近的“误差”，进行人工修改

目前北京气象中心发布北半球 700、500 毫巴高度预报图，还将继续发布一些涡度、垂直运动和水汽等诊断分析的物理量。

参考日本气象厅的经验，根据我们目前的情况，可以考虑利用最近的分析和预报误差，对大型天气过程的数值预报进行人工修改。包括下列的几个步骤：

(1) 查对客观分析的初始场 ① 检查 24 小时内的显著变化是否合理，特别要注意资料缺乏的大洋区、高原区是否合理；②

检查大气的三维结构，高低空系统位相差的配置是否合理，急流和锋区的强度如何，查对垂直运动分布是否与涡度场相匹配；③查看 ω 和天气现象的分布是否一致，如果上升运动与晴天相配合，则要查看露点差，该区是否干区，否则应再查对其他气象资料。

(2) 检查 48 小时的预报 ①验证 48 小时预报，查出显著的预报误差，参考误差的气候特征，再根据最近的 48 小时预报误差和初始场流型对系统移速和发展强度作出修改；②查看预报的三维结构（系统的上下配置等），垂直运动与涡度场的分布是否匹配，再作出调整；③检查涡度中心的生消移动，是否与系统的预报一致，利用等高线与等涡度线的交角大小判别涡度的移动。

三、局地天气预报

国民经济建设、国防建设和人民生命财产的保护，需要具体的天气现象预报。后者往往是中尺度现象，粗网格北半球的初始方程模式只能预报大尺度系统，即使有限区域的细网格模式，也只能抓住天气尺度系统，对于和中小尺度系统密切关联的局地天气预报还需要从另外的途径解决。

1. 将概念模式与数值预报产品结合

概念模式是从丰富的天气预报实践，借助物理学、天气动力学规律而提炼的概念。或称天气学模式。例如挪威学派的锋面气旋模式，可以说是最著名的概念模式。

东亚天气系统有其特殊性，我国的天气学者和预报员曾从工作实践中总结出许多有用的天气系统的概念模式，例如暴雨模式，东北低压、江淮气旋和切变线降水模式等。近年来对这些系统作了许多物理量的诊断研究，得到降水分布与这些物理量分布的关系。因此可以将这些概念模式与数值预报的产品结合，判断局地天气变化。现以暴雨模式为

例，说明这一途径的具体步骤：

根据天气学的研究^[4]，夏季暴雨的发生条件是高温潮湿、层结不稳定，并有大尺度的上升运动。因此可以

(1) 由 24 小时预报图决定高空槽和低空急流的位置；

(2) 由 850 毫巴 24 小时预报图决定湿区 ($T - T_d < 3^{\circ}\text{C}$)；

(3) 由预报的 $T_{500} - T_{850}$, $(T - T_d)_{700}$, $(T_d)_{850}$ ，求 K 指数不稳定区；

(4) 由 700 毫巴 24 小时预报的 ω 图，定出上升运动区；由(2)—(4)定出共同覆盖区，然后参照(1)，决定暴雨区。

2. 将统计模式与数值预报产品结合

统计预报模式是建立在预报因子和预报量的统计关系上。大气的许多现象和要素同时相关较好，前后相关较差，因此利用前一时期的预报因子作后一时刻的天气预报，往往效果不佳。从数值预报产品中寻找预报因子，多是与预报量同时的，因此相关较好。

从大量的数值预报产品中，经过统计学的筛选方法，可以找到较少的和预报量相关最好因子，把这些来自“产品”的因子和局地天气预报量作成回归统计关系 I。形成一种统计预报方法，即所谓模式输出统计(MOS)(参看图 9.2)。这样，数值预报的误差缺陷以及局地气候学都统一地包括在统计关系式中。实践已经证明，这种预报方式要比单纯的统计预报准确。MOS 方法需要大量的模式输出的历史产品资料，这就要在数值预报业务建立较久之后才有可能；一旦更换了数值预报模式，那就要重新积累产品资料，求得新的统计关系，这是 MOS 方法的缺点。

另一种途径是从同时刻观测的大型环流资料和局地天气资料，经过筛选，求出统计预报关系 II。然后假设现在的数值预报大型

环流产品，完全与明日的实际观测一致，利用历史资料的统计关系Ⅱ和现在的数值预报产品，制作局地的天气预报，这种方法称为“完全预报”（参见图9.2）。

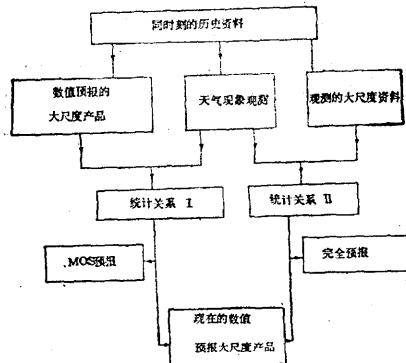


图9.2 MOS预报和完全预报

“完全预报”的优点是所用的统计关系Ⅱ稳定，不因数值预报业务模式的更新而改变。但完全不能考虑数值预报必然存在的误差，因此效果不如MOS预报。

现在国外已经在日常业务性天气预报中，使用MOS方法，预报局地的最高温度、最低温度，降水有无等。例如表9.1给出日本气象厅出现大雨概率24小时预报的数值“产品”因子^[5]。

表9.1

地区	预报因子(24小时数值产品)					复相关系数
	第1	第2	第3	第4	第5	
北 日 本	q_{600}	FR_{00}	ORO	BB	$\Sigma q\omega$	0.24
日本海岸	$\Sigma q\omega$	FR_{06}	q_{600}	ω_{600}	BB	0.36
太平 洋 岸	ORO	$\Sigma q\omega$	FR_{06}	BB	ω_{600}	0.38
九 洲	q_{600}	$\Sigma q\omega$	ORO	ω_{600}	V_{850}	0.29

表中 q_{600} 表示600毫巴的比湿， ω_{600} 表示600毫巴的垂直运动， $\Sigma q\omega$ 表示700、600、500、400毫巴4个等压面上 $q \times \omega$ 的和， FR_{06} 表示数值预报6小时的降水量， V_{850} 表示850毫巴的南北分量，ORO表示地形性降水指

数，BB表示“黑箱”指数。

3. 将中尺度数值模式与大尺度数值模式结合

上述的把统计模式与数值预报产品相结合的方法，虽然比单纯的统计模式提高了预报准确率。但是一个根本的问题是，局地性的剧烈天气并不简单地与大尺度流型有关。前者是中尺度过程，它们既和大尺度环流有非线性的相互影响，又更受下垫面的制约，中尺度的江湖、海岸形状、地形山脉起伏以及日变化等，都对中尺度过程有显著的作用。这在动力学上比大尺度问题更为困难。从现实情况看，现在的观测资料和计算能力也都很难直接处理中尺度的数值预报问题。可以考虑简单的中尺度动力学模式和大尺度数值预报产品结合，制作局地天气预报。例如：

(1) 地形性降水模式 中小尺度地形对于降水强度的分布有很大影响，可以利用数值预报的大尺度气流在中小尺度的地形分布下，算出更细的降水量预报。日本的气象工作者曾作过这类研究^[6]，降水量的计算公式是 $I = F_{925} \omega_{1000}$ ，其中 F_{925} 是925毫巴的凝结函数，可预先制表， ω_{1000} 是1000毫巴的地形强迫垂直运动

$$\omega_{1000} = \frac{gm^2}{4fd^2} (h_y p_x - h_x p_y),$$

这里 p 是大尺度数值预报输出的1000毫巴形势， h 是地形高度。

(2) 边界层气流模式 边界层对于局地天气的作用很大，特别是海洋和地形复杂区，在下垫面特性梯度比较强烈集中的区域尤为显著，例如暖洋流的前缘，我国的高原、丘陵地形等。这时可以利用粗网格预报的边界层或最低层的大尺度气象场，设计更细网格的边界层模式，预报大气低层中特殊的天气。

边界层模式的水平分解和垂直分解程度

以及模式大气的物理考虑，要决定于计算机的设备。在计算机较小的单位，可以考虑动量方程是准定常的；上下边界的风速分布由大网格预报求出后，计算出细网格的边界层气流，再通过连续方程，求出垂直速度。温度和水汽可以考虑用更详细的台站资料补充输入，用预报方程求出预报值，可参看文献〔7〕。

四、结语

我国的完全初始方程的数值业务预报，正在开始建立，它将陆续提供数值预报产品。我国广大的预报员都有丰富的天气预报实践经验，希望大家结合自己的经验，利用这些产品，并不断地和数值预报工作者一起总结，共同努力提高我国的天气预报水平。

参考资料

- 〔1〕朱抱真，大气科学，2(1978)，341—349。
- 〔2〕葛雷芬等，第3次全国数值预报会议材料(1981)。
- 〔3〕Masuda, Y., WMO Sym, Interpretation of Broad-Scale NWP Products for Local Forecasting Purposes, Warsaw (1976), 177—184。
- 〔4〕陶诗言，中国之暴雨，第九章，(1980)205—223。
- 〔5〕立平良三等，气象研究，134(1978)，373—383。
- 〔6〕石原健二等，研究时报(1957)，615—632。
- 〔7〕Hadiean, K., Proc. 6th AWS Tech. Exch. Conf. (1970), 72.

《暴雨文摘》出版

《暴雨文摘》收集了建国以来北方17个省市气象台、站、大专院校、科学院等单位有关北方暴雨科研论文和技术报告的摘要共407篇，每篇摘要的末尾都给出了该文献所涉及的内容和范围，除总目录外还附有分类索引、地区索引、第一作者人名索引。内容丰富，便于查阅，可供气象部门开展研究工作和改进预报方法参考。

《暴雨文摘》由北方暴雨研究技术组编辑，北京大学出版社出版，北京新华书店发行，32开本共416页(约34万字)，每本定价1.75元，书号：13209·82。需要者请速到当地新华书店购买。

(上接第33页)

下也能发展成台风。

5. 台风暴雨的研究。唐敏章等认为，对流层中部南到西南风的强风轴对华东部台风倒槽内的低压发生发展和移动有制约作用；中纬度中层低涡与台风共同作用，是造成台风倒槽暴雨的一种重要天气过程。陈士仁等研究了台风外围低空急流的成因，认为变高梯度、能量转换和风场铅直切变对急流的形成和维持都起着重要作用。南京气象学院的一项工作指出，850毫巴上的强湿冷平流区与台风倒槽暴雨有很好的对应关系。李玉兰提出，台风倒槽的形成与台风东侧的东南气流的西传和加强有着密切的关系。山东省气象台的一项工作得出，热成风急流和低空急流的配置与暴雨落区有较好的关系。上海台风所对长江三角洲地区的台风倒槽暴雨，以天气学、动力学、热力学的方法进行了诊断分析，得出可供业务预报参考的预报判据。另外，有的论文对台风暴雨的气候特征、地形影响作了分析，有的还建立了台风暴雨客观预报模式。

此外，台风风暴潮的研究开始受到重视，有的对风暴潮进行了数值模拟，有的制作了台风风暴潮客观预报模式。卫星云图运用于台风的发生、发展、消亡和天气以及台风移动、路径等方面，并取得较好的效果。

(上海台风研究所 奚熙贤)

《中国云图》(新版)将于 6月出版

本刊于1983年第7期上介绍过的《中国云图》(新版)将于今年6月出版，每本单价52.00元。欲订购者，请以省(市、区)气象局等为单位，将你省(市、区)各有关台站、气科所、农气区划办、气校等单位的累计订数于3月20日以前(邮戳日期)函告，并将书名、书款(单位邮购按购书总额收百分之七的包装、邮挂费，个人邮购只加收挂号费壹角贰分)寄北京朝内大街137号科学出版社发行科(银行帐号：北京东四分理处4601075)。