

# 数值天气预报概况

数值天气预报方法是根据描写大气运动规律的流体力学和热力学定律（动量增加定律、质量守恒定律、热力学第一定律）组成闭合的方程组，然后用数学方法进行求解，得出未来天气的变化。由于我们对大气演变的规律还没有完全认识，以及数学求解上的困难，因此，通常都是针对某一具体预报问题建立相应的预报模式。

数值天气预报需要一个客观分析的初始场，所谓客观分析，就是利用电子计算机直接对气象要素场如高度场进行分析的方法。

数值天气预报方法的特点不仅在于它能够作客观的、定量的预报，便于提高预报准确率，而且便于使整个预报过程实现自动化。同时这种方法还能避免人工填图中可能产生的人为误差。并能对探空资料进行水平订正以消除因探空仪水平移动引起的误差。

因此，自50年代初作出了第一张数值天气预报图以来，数值天气预报在愈来愈多的国家中开展起来，并且取得了相当的进展。

## 一、我国数值预报工作的概况

中央气象局研究所的数值预报工作是在1956年开展起来的。那时没有电子计算机，只能用图解法作预报。于1959年国庆10周年前夕，利用中国科学院计算技术研究所的电子计算机，用地转正压模式制作亚欧范围500 mb高度形势场的预报。1961年起改作全北半球预报，直至1966年。在台风季节，用一个台风路径预报模式制作台风路径的预报。预报时效为四天，预报所需的初始资料靠人工来完成。

1969年5月至7月在中央气象局研究所安装并调好了国产的电子计算机DJS-6，这架机器的平均运算速度为6万次/秒。研究所利用这架计算机开始解决直接将气象电报自动输入机器，同时进行客观分析等问题。在国庆20周年的前夕，完成了将850 mb、700 mb、500 mb、300 mb、200 mb、150 mb、100 mb等7层资料进行自动处理及对850 mb、700 mb、500 mb、300 mb、200 mb等五层的高度进行客观分析的工作，连同一个北半球范围的准地转三层模式（850 mb、500 mb、300 mb）进行了国庆节期间的高空形势预报。

在台风季节用以制作台风路径预报的仍用准地转的一层模式，但考虑台风的引导气流路径与初始时刻实况移动的偏差，取得了较好的结果。

1971年改用一个考虑地形影响的一层全球模式制作全北半球三天以内500 mb高度形势场的预报。这个模式在纬圈方向用富氏展开，经圈方向用差分，在低纬度用风场，制作的48小时预报在每星期一、三、五向国内广播。

中国科学院大气物理研究所一开始就和中央气象局协作，在数值预报方面作了很多工作。最近他们还提出了一个能量方程，正在用以编制三层斜压预报的程序。此外，在最近几年提出的一个北半球准地转的三层模式，已用几十个例子作了试验验证；并且进行了全北半球的三层初始方程模式及网格比较精细的欧亚范围的四层初始方程模式的试验研究，并用以预报对流层下部的可能降水区。

北京大学地球物理系正在试验研究一个5层初始方程模式，并与中央气象局研究所、中国科学院大气物理研究所共同协作，试验研究北半球三层模式的改进工作。

以上这些工作都是把复杂的数值预报问题提成初值问题，就是说，大气未来状况的预报是由初始时刻的状况唯一地决定了的。但是，在天气图的预报方法中，预报员不仅注意初始时刻大气的状况，同时也关心过去的状况，根据系统在多时刻的演变情况预报其未来的情况，这一点，已经引起我们数值预报工作者注意。

1972年12月开始，中央气象局研究所开始着手解决使用多时刻资料把动力与统计相结合与预报员的经验相结合的数值预报方法。从全球的一层模式出发，把模式中的预报量看作这个动力系统的输出信息，预报与实况的偏差看作是这个动力系统的干扰。一个好的动力系统的必要条件是信息和干扰不相关，所以可以要求其相关矩取极值。根据这个约束条件，利用五天的多时刻资料，用经验正交函数展开的方法，建立一个预报方程。这种方法现正在业务中试用。

此外，还用与上述相类似的原则，制作了今年逐月的月平均高度偏差场的长期预报。

同时还准备用动力与统计相结合的方法作有限区域形势和降水的预报。

最近几年随着我国工农业生产的迅速发展，使得电子计算机能在全国更多的地方装备起来，这就为我国数值预报工作在全国各地蓬勃开展提供了必要的物质基础。

今年，上海市气象局即将安装DJS-6型的电子计算机。他们将利用这部机器继续对有限区域四层准地转斜压模式进行转折性天气的数值预报试验，并对客观分析、台风路径预报等各方面进行试验研究。

湖北省气象局与中国科学院大气物理研究所、中南计算所、武汉大学等单位协作，用大气物理研究所的三层初始方程模式在中南计算所的电子计算机上作汛期降水预报的试验。

湖南省气象局与湖南省科技局协作，用科技局的电子计算机制作有限区域的500 mb高度形势场的预报，并准备用多层斜压模式作降水预报。

国家地震局兰州地震大队气象连的数值预报工作早就开展起来，他们侧重高原地形对天气影响方面的研究，不过由于他们目前只有小型的103电子计算机，所以一些比较复杂的课题需要到西安去计算。

安达市气象台准备用附近一个研究院的DJS-6电子计算机研究制作安达地区的数值降水预报。

此外，还有一些省气象局正积极准备开展数值预报工作。

## 二、国外数值预报工作的概况

目前，在国外已有近20个国家开展了数值预报的业务，据不完全统计，这些国家为：澳大利亚、比利时、加拿大、古巴、西德、芬兰、法国、印度、日本、挪威、罗马尼亚、瑞典、英国、美国、苏联。

他们所采用的模式达30多种，但不外是三类，即准地转模式、非地转模式(平衡模式)、初始方程模式。

在模式中考考虑的物理因子有：海陆、地形、摩擦、潜热和感热、辐射等。

采用的空间步长最小的有80公里，垂直方向最多的达18层。

预报内容包括高度、场面气压、风场、垂直速度、温度、降水等。

由于国外拥有的计算机比较大，计算速度大都在百万次/秒以上，所以约有60%的国家采用了比较复杂的初始方程模式制作日常的业务预报。

可以看出，当前数值预报的工作有以下几个特点：

(1) 从简单的准地转模式，过渡到初始方程模式。在这些初始方程模式中，只作了准静力假定。

(2) 预报的内容从简单的大形势，过渡到复杂的气象要素等具体的天气预报。数值预报的内容较20年前丰富得多了。所采用的空间步长和时间步长，都大为缩短。

(3) 考虑的因子也较20年前复杂得多。不仅考虑地形和摩擦，而且还考虑各种非绝热过程：感热、潜热、辐射，以及蒸发、凝结，海陆下垫面的差异等。而且地形与摩擦的考虑，也更加完善，例如采用了地形坐标等。

(4) 除高空观测资料外，在不少数值预报工作中，还使用了地面观测资料，以及卫星观测资料。因此，四维分析工作，已经发展起来。四维分析，也叫作四维同化，它是把各种不同时刻的(卫星)观测资料分析到同一个瞬时来使用。

(5) 制作全北半球的数值预报逐渐增多，一些国家已开始制作全球的数值天气预报。同时，地区的数值天气预报(如澳大利亚，取空间步长为300公里，预报区域为 $21 \times 17$ 的网格点)，仍然在继续发展。一个数值天气预报中心，要在正点观测以后八个多小时，才能把半球的观测资料收集齐全。而地区的观测资料，在正点观测以后三十五分钟，就可以收集齐全。所以，地区预报的优点是可以提前七、八个小时作出预报，这具有很大的实用意义。当然，由于边界条件的影响，地区只发布36小时的数值预报，而半球发布72小时的预报。

由于人们对大气运动规律性的认识，尚未达到全面揭示大气内部矛盾运动的程度，因此，通过模拟试验的办法，充分利用气象资料，研究影响天气演变的各种物理因子的作用，提出更加完善的物理模式，精确求解，把成功的模拟试验模式用于日常的业务预报，将是数值预报今后的一个发展方向。这个趋向，可以从美国预定在今年10月召开的第二次全美数值预报会议的内容中看出。美国这次会议的内容有：基础动力学、数值方法、海洋环流、气团相互作用模式、大气环流和长期预报模式、热带模式、中小尺度模式、潜热释放参数化、随机模式的可能性、初值化和时间同化等。

现例举两个数值模拟试验的结果：

(1) 美国用一个9层模式作了两次14天的预报。预报的主要槽脊位置和观测的实况位置对应很好，特别在500 mb上。500 mb的形势图的相关系数一个前13天，一个前9天都在0.5以上。能报出某些次生的甚至第三代的温带气旋的生成。缺点是尺度较大，中尺度的系统太平滑，高低压的强度较弱，对流层西风带过强，雨量较小。

(2) 英国用一个五层模式作了65天的预报。从预报的结果看出，每隔几天就生成一个新的逼真的气旋，维持几个星期。模式所产生的气旋其三维结构到30天以后还是非常逼真的。

因此，有人认为，用数值预报方法报未来至少一星期的天气尺度系统的活动是可能的。

不过，用数值模拟试验的模式准备一次试验，资料的准备工作就需要花费半年左右的时间。因此，即使用现在成功的模拟试验模式作日常的业务预报，尚须作出必要的努力。

### 三、看 法

实践是真埋的试金石。数值预报的历史事实表明，过去预报准确率有了一定提高，但是，还不够理想。

由于大气运动具有明显的乱流性质，而且天气的演变是各种物理因子相互作用的历史发展结果，忽视多层斜压模式的研究改进，显然是错误的。但是如将数值预报提成初值问题也是不全面的。因此，国外有些气象学者提出将来最有前途的预报方法应当是数值预报与统计方法、天气图方法相结合的预报方法。

现在动力方法与其它方法的结合已愈来愈引起人们的注意。美国今年要在第二次数值预报会议上，专门讨论随机模式的可能性问题。而在今年六月，在美国即将召开的大气科学概率论和统计学会议上对动力-统计和随机动力预报，也要进行专门的讨论。实际上，美国和苏联对外发布降水预报，用的是统计加经验的办法。当前国外动力统计预报的内容，不外乎以下四个方面：

(1) 在作统计预报时，把动力预报的结果，作为预报因子选上去，然后用统计方法作预报。

(2) 认为动力预报方程是完全准确的，只是把所用的瞬时时刻的初始场，看作是统计总体中的一个现实。因此，增加了一个概率密度连续方程联立求解，以作预报。不过这方面的工作目前还只是停留在试验研究阶段。

(3) 对已有的动力预报的效果，进行统计检验，找出预报偏差，然后订正到动力预报中去。

(4) 在统计预报中，专门选取那些动力(变化原因)因子。例如，在短期预报中选用涡度或涡度平流。在长期预报中选用海洋温度或冰盖。

但是，所有这些工作都还没有将统计和动力有机的结合起来。

为了达到这一目的，我国的气象工作者在1957年和1961年，都曾先后讨论了在数值预报中使用多个不同时刻观测资料的问题。1972年12月，中央气象局研究所完成了使用多时刻资料把动力与统计相结合，与预报员的经验相结合的数值预报方法，并已在业务工作中试用。这可能是动力统计相结合的一个良好的开端。

(中央气象局研究所二室)