我国的数值预报业务工作*

中央气象局数值预报组

动力气象学的发展及大型电子计算机的问世提供了制作数值预报的可能性。数值预报问题的实质在于如何构成描述大气运动的动力学和热力学特性的闭合方程组，并设计出精确度高计算稳定的数值求解方案。在自由大气中，三五天以内的大尺度大气过程一般可简化成由六个方程来描写，即两个水平运动方程、静力方程、连续方程、热流量方程及状态方程。由于涡旋运动是大气运动的基本特性，因此很自然地可以用涡度输送方程来代替两个水平运动方程。把风场和气压场用一定的关系如地转近似联系起来，并按某些原则，如尺度理论来进行简化，就可以得到一个熟知的所谓位势涡度守恒的方程。对这样的预报问题进行数值求解，初看起来似乎是比较简单的。然而，即使是最简单的二维问题，即正压模式的情况，设计出较为令人满意的计算方案，在国外以及在我国都经历了一段很费力的路程。

目前，进行着数值预报业务的国家约有七、八个，他们大都采用正压模式。这不仅因为正压模式可以近似地描写对流层中部大气的演变过程，而且还因为这模式较为简单，容易揭露出计算方法上的一些问题，能够为设计更复杂的模式提供重要的依据。

地转近似下正压模式的预报方程为

$$\nabla^2 \frac{\partial z}{\partial t} = J \left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 z + f, z \right) \quad (1)$$

其中 z 是 500 毫巴等压面的高度， $f = 2\Omega \sin \varphi$ 为地转参数， Ω 是地球自转角速， φ 为纬度， g 是重力加速度， ∇^2 为平面拉普拉斯算子， $J(A, B) = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial x}$ 为平面雅科宾算子， m 为地图投影放大因子^[1]。

自 1960 年 2 月起，中央气象局在中国科学院地球物理研究所和计算技术研究所的协助下，以方程 (1) 制作亚欧范围内日常业务的 24 小时和 48 小时 500 毫巴形势预报。根据边服务边试验的原则，在业务预报建立的最初五个月内，曾对各种不同的边界条件进行了一系列的试验比较。结果表明，采用最外两圈边界上，高度数值不随时间改变的条件，可以得到较好的结果^[2]。这些经验后来进一步也在理论上得到了论证^[3]。根据个例的比较分析表明：在预报方程中引入抑制超长波后退的整层辐散作用，能够提高预报准确率**9%。之后，又进一步发现，考虑整层辐散效应，不仅有物理依据，而且还有

* 这里是指天气形势的数值预报。

** 以格点上数值预报误差不大于 4 位势什米时认为预报是准确的，否则是错的，按此标准所统计出来的预报区域内的百分比作准确率。

数学理論的依据^[3]。

因此,从1960年7月开始,在中央气象局用预报方程

$$(\nabla^2 - \mu^2) \frac{\partial z}{\partial t} = J \left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 z + f, z \right) \quad (2)$$

制作预报,取 $\mu^2 = 0.2/d^2$, 这里 d 为相邻两点网格间的距离。

由于人为边界条件的误差使得亚欧区域的48小时以后的预报效果很差,为了减少这种误差,我们把预报区域扩大至全北半球。

因为在地转近似下风有辐散,这种辐散作用会引入系统性的预报误差。避免这一误差比较简单的办法是把地转参数取成常数,或者把地转风分成无辐散的和无旋的两部分,从而把要求解的高度场的预报方程转换成流函数的预报方程^[1]。

因此,从1960年9月就开始用

$$\begin{aligned} \nabla^2 \psi = & \frac{g}{f} \nabla^2 z - \frac{g}{f^2} \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial x} - \\ & - \frac{g}{f^2} \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial z}{\partial y} \end{aligned} \quad (3)$$

$$(\nabla^2 - \mu^2) \frac{\partial \psi}{\partial t} = J(\nabla^2 \psi + f, \psi) \quad (4)$$

制作1—4天的全北半球预报。

在具体制作预报时,先通过方程(3),由初始高度场 z 求出流函数场,借助方程(4)求出流函数的预报值,然后再通过方程(3)从流场求高度场。

考虑到抑制超长波后退的现象,在北半球范围内,要比在亚欧范围内更为重要^[1],在经过一些试验后,选用 $\mu^2 = 0.8/3d^2$ 。

方程(3)用到低纬度时,等式右边第二、三项的值变得异常大,这是由于在低纬度地转近似不能成立所引起的。为此规定,当把方程(3)用到北纬 30° 以南的区域上时,出

现在分母上的地转参数值总是取北纬 30° 上的值。

也要指出,在数值求解方程(1)或(2)时,采用正方形网格,相邻两个格点的间距(记作 d)为409公里。在求解方程(3)和(4)时采用三角形网格, d 取660公里。时间积分公式都用向前差。

二

几年来的实践表明,对于正压模式,尽管在数值求解时采用不同的差分格式,但预报能力却差别不大。主要的特点是:当天气形势没有剧烈变化,原已存在的气压系统作比较有规则的移动时,预报一般都能作得很好。非但比较有规则的移动,可以报得出来,有时候,还可以报出槽脊系统移动速度的突然改变。从一些预报实例中发现,在某些情况下,用正压模式可以定性地报出局部地区经向环流转为纬向环流,或纬向环流转为经向环流等变化,虽然在定量上有时还不够好。正压模式的这种预报能力,也在理论上得到一定的解释^[5]。

对于亚洲上空常出现的主要天气过程(如横槽和东亚大槽的发展),正压模式的预报情况是:一般能够报出横槽的建立和维持等过程的特点,但对于如横槽迅速转为竖槽的过程,预报往往是失败的。对东亚大槽的发展过程来说,正压模式虽然对发展的强度都估计不足,但对发展趋势却大多能够报得出来。

三

为了对模式的预报能力作更进一步的了解,我们统计了48小时数值预报的准确率(评分标准同前)。在亚欧范围内,四年的平

均值为 65%，这个数值虽然不高，但从使用效果看，成效是肯定的*。

也計算了在北半球东經 0° — 180° 的范围内各次 48 小时预报的年平均偏差值，发现在东亚大陆上負偏差占优势，其中心位于康藏高原的东北部，我国东部太平洋的区域上則正偏差占优势。这表明，在我国东部的太平洋上，即东亚大槽的平均位置上，正压模式对低槽强度报的不够，而对东亚大陆上的高压脊的预报强度却較弱。这些偏差的产生，与对流层下半部的冷热源在陆地和海洋上的分布有关。同时，东亚大陆上的負偏差也与西藏高原的动力作用在模式中沒有加以考虑有关。

四

几年来的实践表明，在計算方案上存在的主要问题是：预报槽脊的移动速度較慢，并經常出現計算不稳定的现象。前者是由于差分代微分时所带来的截断誤差引起的。在綫性情况下对单波的分析表明，当取 $d=660$ 公里的正方形网格时，截断誤差可以使 3,000 公里波长的天气系統槽脊的移动速度预报值偏慢 39%。减少这种誤差的有效措施是縮短格距，这种設想，已为試驗研究所証实。

時間积分用向前差是造成計算不稳定的原因，改用中央差分就可以在很大程度上克

服这种缺陷^[1]。

五

用正压模式制作 500 毫巴中期形势的日常业务预报所取得的成效是远不能满足当前生产服务上需要的。进一步的研究改进十分必要。它应该沿着两个方向进行，其一是仍以正压模式为预报方程，但在差分格式的设计上要力求精确，并确保計算的稳定性；在初始风场的表示上也要力求完善，也要考虑引入地形的影响等。其二是从事于斜压模式的研究，并着重考虑在预报方程中引入冷热源的作用。但是，从目前的情况来看，首先还应充分发挥正压模式的预报潜力，延长预报的时效，报好大形势，为大中小相结合的预报方法贡献力量。

- [1] Юдин М. И., Новые методы и проблемы краткосрочного прогноза погоды, л., 1963.
- [2] 叶笃正等，北半球冬季阻塞形势的研究，科学出版社，126—128, 1962。
- [3] 杜行远、周紫东、丑紀范，气象学报 **34**, 4, 462—467 (1964)。
- [4] 齐献尊、黎光清、周紫东，气象学报，**33**, 4, 494—500 (1963)。
- [5] 廖洞賢，气象学报，**33**, 4, 512—517 (1963)。

* 这评分标准比较严格。这准确率也不能与其他国家所用的相关系数直接比较。——编者