

初始方程数值模式的一个计算格式 在有限区域预报的试验

中国科学院大气物理研究所中期预报组

提 要

本文是将我组提出的初始方程数值预报模式的一个计算格式,在有限区域进行预报的试验。

本文主要叙述了侧边界条件试验的情况,初值温度的计算方案,最后给出一次 24 小时的预报结果。

一、前 言

在数值预报中,包括各种物理因子的原始方程模式的引用,一方面延伸了半球模式的预报时效,增加了中期预报的可能;另一方面提高了有限区域模式对于低空天气系统和降水的预报能力。这两方面的进展是相辅相成的。

为了中期预报的研究,我们曾提出了原始方程数值模式的一个计算格式,并在北半球范围里作了预报个例的试验^[1]。为了研究这个模式对我国天气系统的预报性能,我们先将这个格式在差分网格比半球模式小的有限区域中作了试验,本文是这方面工作的一个初步小结,主要叙述了侧边界条件问题和初值温度的计算方案。

这个格式是在 σ 坐标的多层模式中,使差分格式保持动量、动能和总能量守恒。详细情况这里从略,可看文献[1]。有限区域的范围见图 4,是亚欧地区等角圆锥投影的一块长方区,共有 $i \times j = 40 \times 25$ 个格点,格距为 300 公里,时间步长为 10 分。

本文所用符号与[1]相同。

二、侧边界条件的处理

有限区域的初始方程模式中,如何处理好侧边界条件是一个重要问题。在本文中,我们取简单的固定边界条件,即在最外的一圈上,变量 U 、 V 、 T 、 p_* 不随时间变化。但是只这样作会引起一些计算不稳定现象。我们曾以 1972 年 6 月 20 日 08 时的初始场作了以下几种试验:

试验甲,只取固定边界,边界内不作任何处理;时间积分前 4 步用欧拉后差,以后每隔

1977 年 2 月 12 日收到

1 小时作一次欧拉后差,其余都用中央差。

试验乙,固定边界,同时每预报 1 步,对边界内一圈作一次 9 点平滑。时间差分全用欧拉后差。

试验丙,在试验乙的基础上,将 9 点平滑扩展到边界内三圈。

在试验甲,输出了每小时的预报结果,可以发现在侧边界区有下列 3 类计算波,随着预报时间的延长,造成了计算不稳定。

(1) 在预报区西侧的流入边界处,当 $t = 100$ 分时,在 $i = 2$ 点开始产生计算波,是一种波长 2 个格距、波幅较小的“噪音”,以重力波速向东传播。到 $t = 340$ 分时,已经扩展到 $i = 16$,并发展成为 4 个格距、大振幅的计算波。这在积分区域的西北部最为明显,完全破坏了气象波的分布(参看图 1)

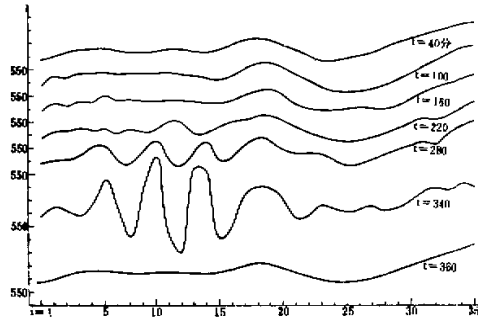


图 1 在 $i = 19$ 排上,不同预报时刻各 i 点(横轴)的 500 毫巴高度(纵轴,每格表示 100 位势米)上部的 6 条曲线为试验甲的结果,最下的曲线为试验乙的结果。

(2) 在预报区域北侧的流出边界附近,尤其是急流出口处,产生一种反射波。随着预报时间的延长,这种反射波以明显的两倍格距波的形式向区域内部传播。由图 2 可以看到,它在 $t = 160$ 分时产生于 $i = 24$,而到 $t = 340$ 分时,已传播到 $i = 16$ 处,振幅逐步加大,结果沿着急流形成向内传播的“噪音”。

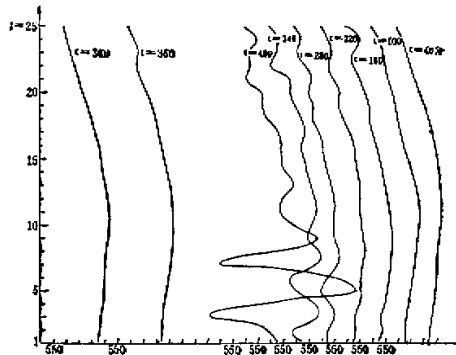


图 2 在 $i = 3$ 列,不同时刻各 i 点(纵轴)的 500 毫巴高度(横轴,每格表示 100 位势米)左起第 1 条曲线为试验丙,第 2 条为试验乙,其余为试验甲的结果。

(3) 在靠近东南边界, 还出现了大致和副高边缘平行的、斜条状的计算波, 它在东西方向和南北方向表现为 4 倍格距波, 而在东南—西北方向表现为两倍格距波。这种计算波的性质还不够清楚, 它产生较迟, 在 $t = 160$ 分只看到有小弯曲出现于 $i = 32, j = 3$

处, 但振幅发展很快, 到 $t = 400$ 分, 在 $j = 1-13$ 都成为大振幅的 4 倍格距波 (参看图 2)。

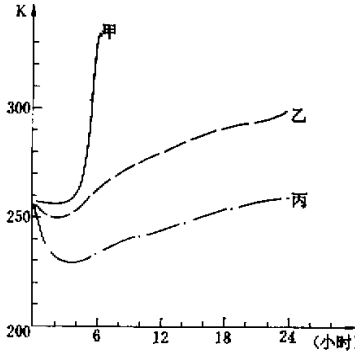


图 3 三种边界条件试验的总动能 ($K \times 10^5$ 毫巴 $\cdot$ 米 $\cdot$ 秒 $^{-2}$) 变化曲线

比较三种试验的总动能变化曲线 (图 3), 可以看出, 如果采用固定边界而不作其它处理, 那么由计算波携带的虚假动能将迅速积累, 使得计算稳定性完全破坏。通过试验乙, 基本上消除了上述第 1 类计算波。但不能消除第 2 类的流出边界所造成的反射计算波, 这时沿着急流出口区仍存在着明显的 2 倍格距波, 仍有相当可观的虚假能量产生。试验丙则消除了那种反射性“噪音”, 所得的动能变化似更合理。

因此侧边界条件最后取作: 固定边界值, 并对边界内三圈的全部变量每步作 9 点平滑。

三、关于温度初值的计算

静力方程可以写成

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = -RT, \quad (1)$$

或

$$T = \frac{1}{R} \left(\phi - \frac{\partial \sigma \phi}{\partial \sigma} \right). \quad (2)$$

相应的差分格式为

$$\begin{cases} \phi_k = \phi_{k+1} - \frac{R}{2} \left(\ln \frac{\sigma_k}{\sigma_{k+1}} \right) (T_k + T_{k+1}), & k = 1, 2 \\ \phi_3 = \phi_* + RT_3 \ln \frac{1}{\sigma_3}. \end{cases} \quad (3)$$

或

$$T_k = \frac{1}{R} \left[\phi_k - \frac{1}{\Delta \sigma} (\sigma_{R+\frac{1}{2}} \phi_{R+\frac{1}{2}} - \sigma_{k-\frac{1}{2}} \phi_{k-\frac{1}{2}}) \right], \quad k = 1, 2, 3 \quad (4)$$

我们用这两种格式作了试验比较。按照 (3) 式的格式计算时, 最低一层的温度 T_3 是由单向差计算的, 截断误差较大。通过实际计算, 发现此法比较敏感, 上层温度受 T_3 的影响很大, 这一点在考虑地形作用后更为显著。按照 (4) 式的格式计算温度时, 它的差分格式对每层都可写成中央差, 但实际计算结果, 如按 (4) 式计算 T_1 , 则 T_1 的数值过低。我们试验了几种用 (4) 式计算 T_1 的方案, 尚未找到一种简单合理的方案。因此取了一种混合式, 对 $k = 1$, 按 (1) 式; 对 $k = 2, 3$, 按 (2) 式计算。即

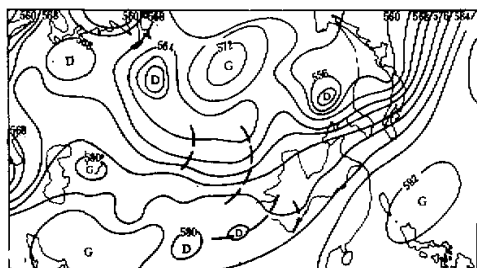
$$\begin{cases} T_1 = \frac{1}{R} \left[\ln \frac{\sigma_1}{\sigma_{1\frac{1}{2}}} (\phi_1 - \phi_{1\frac{1}{2}}) \right], & k=1 \\ T_k = \frac{1}{R} \left[\phi_k - \frac{1}{\Delta\sigma} (\sigma_{k+\frac{1}{2}} \phi_{k+\frac{1}{2}} - \sigma_{k-\frac{1}{2}} \phi_{k-\frac{1}{2}}) \right], & k=2, 3 \end{cases} \quad (5)$$

我们用(3)式和(5)式,对1972年6月20日和1974年5月18日00世界时的两个例子作了比较,发现两法所求的初值, T_3 场相似,但 T_2 和 T_1 相差较大。按(3)式所求的 T_2 和 T_1 场,和按(5)式的比较起来,温度梯度大,冷暖系统多,中心强度也大。有意思的是利用两法所作的预报结果差别不大,流场基本上是相似的。

四、预 报 个 例

下面我们利用上述侧边界条件丙,按(5)式计算温度初值,对1972年6月20日00世界时的个例作了预报。图4和图5是1972年6月20日和21日00世界时的天气图,这是我国长江流域入梅前的一次形势。开始东亚西风带是一个明显的阻塞形势,在位于贝加尔湖西北的阻塞高压的两侧都有向南伸展的低压槽,24小时后,在巴尔喀什湖一带的气流转趋纬向,原来南北向的低槽在蒙古西部分裂一个新的小槽,而原在青海的小槽移至四川,相应地在对流层低空有切变线和梅两锋系在长江流域形成。

图6是24小时的预报图。和图5的实况对比,可以看到亚洲的经向流型转趋纬向的预报是比较成功的,但我国西部的3个小槽的预报位置比实况略慢,特别是四川的小槽位



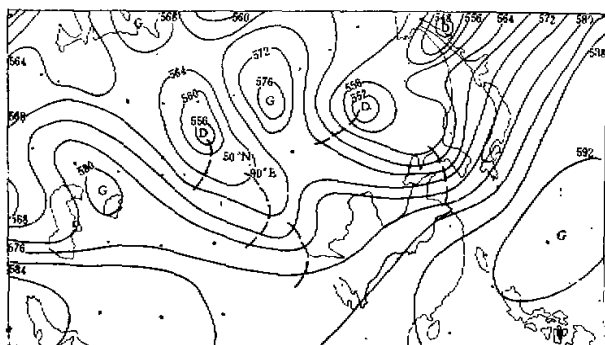


图 5a 1972 年 6 月 21 日 00 世界时 500 毫巴高度图

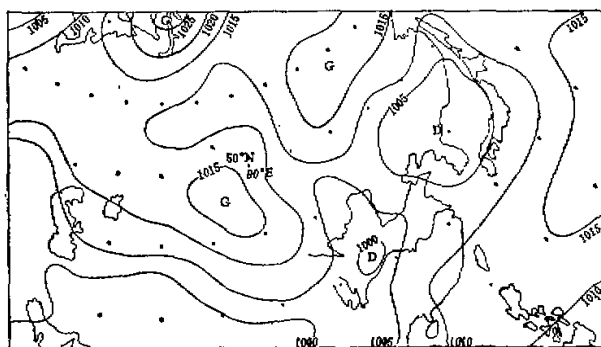


图 5b 1972 年 6 月 21 日 00 世界时海面气压图

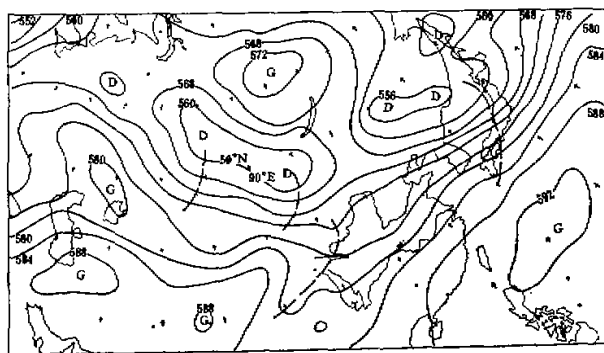


图 6a 24 小时 500 毫巴高度预报图, 用图 5a 的实况验证

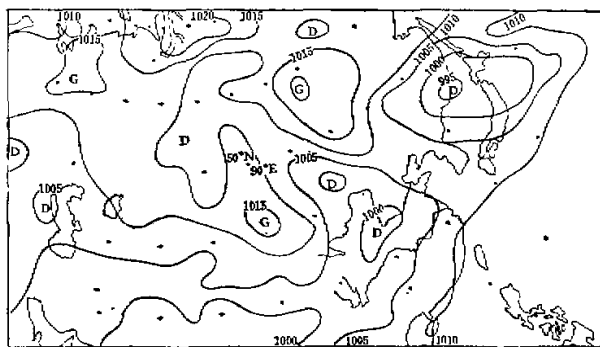


图 6b 24 小时海面气压预报图,用图 5b 的实况验证

置偏西。对应的地面天气图的预报,在高、低压系统配置上也是比较成功的,只是系统的位置和强度有一些差别。

参 考 资 料

- [1] 中国科学院大气物理研究所中期预报组, 初始方程数值模式的一个计算格式及其预报的个例实验, 大气科学, 1977年, 第1期, pp. 39—51.