

## 有限区域模式侧边界对预报结果影响的试验研究

赵思雄 张宝严

(中国科学院大气物理研究所)

## 提 要

本文对固定侧边界、辐射侧边界及实测可变侧边界进行了对比,发现采用实测可变侧边界后,形势预报有较明显的改进。因此,一旦机器条件许可,加入更好的侧边界处理方案或着手发展粗细网格嵌套的套网格模式,这样的想法是可取的。

中国科学院大气物理研究所与武汉暴雨研究所将有限区域细网格数值模式<sup>[1]</sup>用于1983—1989年夏季汛期试验及业务预报中,已获得了较好的预报效果。但是,仍有10—15%的暴雨个例预报结果并不理想。有的个例雨区差别较远,形势出入较大。特别是对于夏季副热带高压进退的预报就更难一些<sup>[2]</sup>。而西太平洋副热带高压的确是夏季暴雨影响系统的重要成员<sup>[3]</sup>。

由于计算条件的限制,当今世界各国在进行中尺度数值模拟和预报时,普遍采用有限区域模式。已经发现<sup>[4-11]</sup>,有限区域模式对侧边界的数值非常敏感,有时会导致预报的失误。因而如何更恰当地确定侧边界值,就成了模式研究的一个重要的课题。本文通过对副热带高压的变化过程的预报对有限区域模式侧边界的敏感性进行了试验。在试验中,我们对如下四种侧边界方案进行了讨论。即固定边界、海绵边界、辐射边界及实测的时变边界等,并对各方案的结果作了比较。

## 一、模式及个例选择

本文采用中国科学院大气物理研究所有限区域暴雨数值预报模式<sup>[1]</sup>为试验工具。这个模式包含的物理过程主要有积云对流降水及大尺度凝结。所取范围为 $30 \times 24$ 个水平格点,水平网格距为100千米,大体上包括了长江中下游及我国东部沿海地区。因而,模式及其计算区域对于研究夏季我国长江流域的梅雨是很合适的。

在对一批例子进行分析的过程中,我们进行了各种试验研究<sup>[12,13]</sup>。本文重点介绍对侧边界的试验情况。共选择了1987和1988年两年间的三次个例作对比。它们的日期分别是:1987年6月12日00时—13日00时;1988年6月21日00时—22日00时以及1988年6月28日00时—29日00时(GMT)。之所以选择这三个例子,是因为它们有共同的特点,同属一种类型。即副热带高压在24小时之内移动较快或在形态上有显著的变化。第一个

例子,副高向东南撤。第二个例子,副高向东撤。第三个例子,副高主体向东北撤,原在山东半岛的高压撤至日本东北,移到了预报区域之外。作为第一步,先试验副热带高压的位置问题。

## 二、侧边界条件试验方案

我们共对四种侧边界方案作了试验。即固定侧边界、海绵侧边界、辐射侧边界及实测时变侧边界等。

1)固定侧边界 设在侧边界上的变量 $\Phi$ , ( $\Phi$ 代表 $u, v, T, q, p$ 等), 有 $\partial\Phi/\partial t=0$ , 即给定侧边界上的风速两个分量值、温度、湿度, 地面气压为常值, 初值一旦给定, 不再随时间积分而改变, 此种侧边界条件的特点是处理方案简单, 但是不够理想<sup>[10]</sup>, 容易引起计算不稳定。

2)海绵侧边界 为了克服固定侧边界容易产生计算不稳定的缺点, 还有所谓的“海绵边界”, 即由边界向内一定范围内设为过渡带。在侧边界上取固定值, 在过渡带的内边界(过渡带最内一圈)上, 设边界值等于预报值, 在两者之间, 逐渐过渡。我们共取了三排和三列格点为过渡带。之所以如此作, 其目的在于对来自预报区域而向外传播的重力惯性波能很好地被吸收, 以消除计算不稳定。

3)辐射侧边界 为了减少反射波的影响, 本文亦对辐射侧边界条件<sup>[6]</sup>作了试验。所谓辐射侧边界条件实质上是移速外推的一种边界条件。设物理量 $\phi$ 的移速为 $C$ , 则当系统移动时, 如其强度不变, 则有如下关系

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + C \frac{\partial\phi}{\partial x} = 0$$

其中 $\phi$ 可代表 $u, v, z$ 等。如边界点网格坐标用 $J$ 表示, 而 $\tau$ 为时间, 可以推出辐射边界条件

$$\phi_J^{(\tau+1)} = \frac{\phi_{J-1}^{(\tau)} - \phi_{J-2}^{(\tau-1)}}{\phi_{J-1}^{(\tau-2)} - \phi_{J-2}^{(\tau-1)}} \phi_J^{(\tau-1)} - \frac{\phi_{J-1}^{(\tau)} - \phi_{J-1}^{(\tau-2)}}{\phi_{J-1}^{(\tau-2)} - \phi_{J-2}^{(\tau-1)}} \phi_{J-1}^{(\tau)}$$

若在侧边界上有条件

$$0 \leq C \leq \Delta x / \Delta t$$

成立, 则辐射侧边界条件可满足, 由此可由公式外推得在侧边界上的数值。

4)实测时变侧边界条件 为了考察侧边界变化对有限区域模式预报结果的影响。我们用实际观测所得的资料先求得侧边界上各要素值在单位时间内的变化趋势。即

$$\left( \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right)_b = \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$$

$\phi$ 代表任意气象变量,  $\phi_2$ 为预报终了时刻 $t_2$ 的数值,  $\phi_1$ 为初始时刻 $t_1$ 的数值。一般来说, 我们所取的观测时间间隔为12小时。为此, 我们在侧边界上使用的简单的预报方程为

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} = -U \frac{\partial\phi}{\partial x} + \left( \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right)_b$$

以此对边界值作出修正。此方案最大优点是它是以实际观测资料为依据。其不足之处是，人为地将变量在边界上的变化值均匀地作了时间内插，因而，对某些时间尺度较小的系统，仍有可能被遗漏掉。

### 三、试验的初步结果

用上述四种侧边界方案对以上三个例子所作的试验表明，其间的差别是明显的，我们讨论了对流层高、中、低层系统的分布，限于篇幅，本文中仅给出低层(即850百帕)的形势图，现简要叙述如下：

例1：1987年6月12日00时—13日00时。

采用固定侧边界条件及辐射侧边界条件，其24小时的预报结果表明，在预报区东侧边界上的预报值明显地比实况偏高。因而，若采用固定边界和辐射边界时在我国大陆东部(即接近侧边界的区域)形成了明显的槽区，槽比实况要深。此外，使用固定侧边界时，副热带高压位置变得明显的东北-西南向。然而，采用实测时变侧边界时，整个形势与实况较为接近。虽然，在台湾附近副热带高压预报得比实况要弱，这也许是由于我们虽然采用了实测可变边界值，但是这只是12小时内的平均数值，因而，仍未能更真实地反映边界值的准确而细微的变化之故(图略)。

例2：1988年6月21日00时—22日00时。

实况表明，6月22日在长江中游有一低涡生成，其位置在武汉东面，中心为1 410位势米。采用固定侧边界虽然也报出了一个低涡，但尺度较大，且中心太偏东，约在杭州附近，与实况相差甚远，中心值偏高达1 430位势米，比实况高出20位势米(图1a)。采用辐射侧边界时，中心位置有改进，退至武汉东侧，但中心数值偏高仍很明显，为1 440位

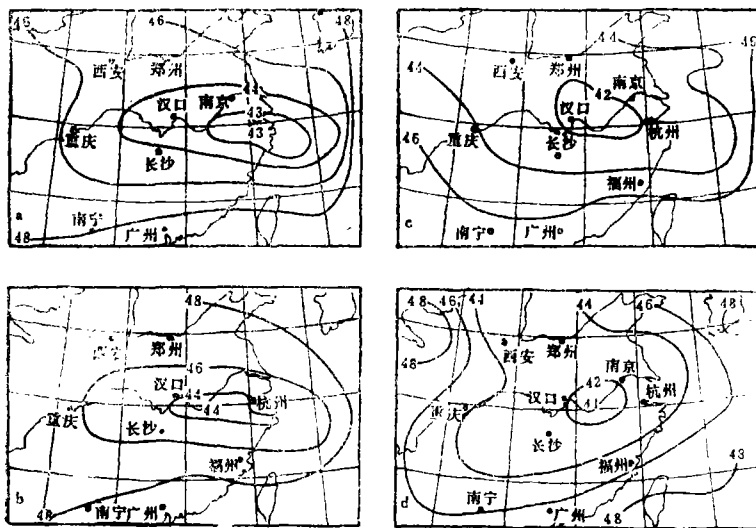


图1a 1988年6月21日00时为初值的24小时预报(850百帕)，固定边界

图1b 1988年6月21日00时为初值的24小时预报(850百帕)，辐射边界

图1c 1988年6月21日00时为初值的24小时预报(850百帕)，实测时变边界

图1d 1988年6月21日00时为初值的24小时预报(850百帕)，实际观测结果

势米(图1b)。同时还应强调指出,从实况看,我国东部的副热带高压分裂后变成两个中心均向东退去,以1480线为代表,则分裂后的副热带高压分别向东北及东南方向移去,而固定侧边界与辐射侧边界试验中东部边界明显地偏高,1480线在边界内侧呈南北走向,受侧边界的影响很明显。此时还可发现,在侧边界附近出现了很强的气压梯度,从而产生出很强的风速,这样大的风速会诱生出低压或使已存在的低压东移并加深。然而,在实测可变边界的试验中,情况有了相当大的改善,1480位势米等高线已移至东侧边界之外,另外一个值得注意的特点是850百帕上模拟的低压的位置已位于武汉东侧,中心值为1420位势米,比实况仅偏高10位势米,这一方案所得的结果似乎比较接近实际(图1c)。

例3:1988年6月28日00时—29日00时。

在这个例子中,对固定侧边界的试验结果可以看出:1480位势米等高线从福建一直伸向朝鲜半岛,且在预报区域的东北侧气压梯度很强。辐射侧边界虽有改进,但形势大体上与此相似。采用实测可变边界后,1480位势米等高线在太平洋上退至 $30^{\circ}\text{N}$ 以南,这与实况是基本类似的。从图2上可以看出,副热带高压向东北撤退的过程总体上而言,已被正确地描写出来了。

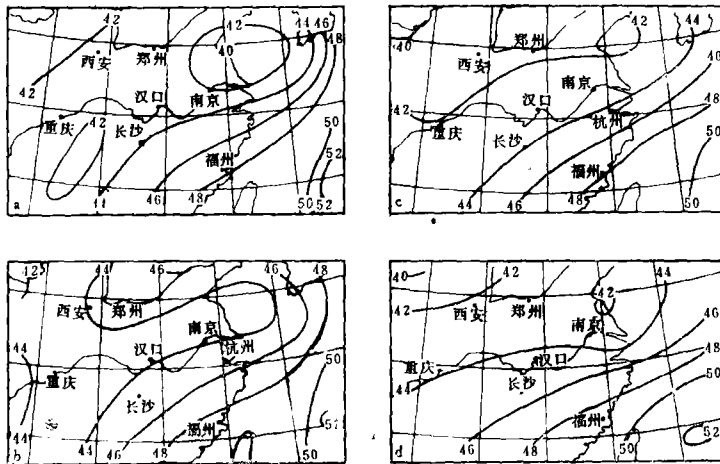


图2a 1988年6月28日00时为初值的24小时预报(850百帕),固定边界  
 图2b 1988年6月28日00时为初值的24小时预报(850百帕),辐射边界  
 图2c 1988年6月28日00时为初值的24小时预报(850百帕),实测可变边界  
 图2d 1988年6月28日00时为初值的24小时预报(850百帕),实际观测结果

#### 四、结束语

有限区域模式侧边界对预报结果影响的研究是一个较为复杂的问题,很有必要进行广泛的试验。本文中采用中国科学院大气物理研究所有限区域细网格暴雨数值预报模式所作的研究,是一系列工作的第一步,虽然,试验方案还显得粗一些,但对各种侧边界条件所作的试验,其结果仍然是很明确的。

(1)有限区域模式的预报结果对侧边界值的方案非常敏感,不同的侧边界方案对预

报的结果有不同的影响。在本文的四种侧边界方案中, 实测时变边界的效果较好, 对于副热带高压形势场的预报的改进尤其明显。

(2) 尽管现在直接把实测可变边界条件用于预报没有意义, 但我们的试验一方面可以表明, 如果能用有效的方法提供较好的侧边界值, 模式就可能有很好的预报结果。另一方面也表明, 我们所采用模式的物理过程大体上能真实地反映大气本身运动与变化的规律。因此, 除了初值而外, 侧边界的处理是影响当前占10—15%个例的预报不够理想的重要原因之一。

(3) 今后在计算机条件许可的情况下, 若能采用更大的计算范围, 使我们最感兴趣的区域, 更加远离侧边界, 这在一定程度上, 可以减轻侧边界对预报结果的影响。此外, 发展有限区域的套网格数值模式, 由粗网格模式的预报值不断地为细网格模式提供随时间而改变的侧边界值, 此种想法值得尝试。这方面的工作将另文发表。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Zhou, X. P., S. X. Zhao, K. S. Zhang and S. H. Liu, 1982, Some results of the fine mesh model for numerical forecasting of heavy rainstorm and severe convective storms, Annual report of Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Vol. 1, 251—260.
- [ 2 ] 周晓平、赵思雄、张宝严, 1984, 梅雨锋上中尺度低压发生的数值模拟实验, 大气科学, Vol. 8, No. 4, 353—361.
- [ 3 ] 陶诗言等, 1963, 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究, 1—146, 科学出版社。
- [ 4 ] 曾庆存, 1979, 数值天气预报的数学物理基础, 第一卷, 31—33, 科学出版社。
- [ 5 ] Perkey, D. J., and C. W. Kreitzberg, 1976, A time-dependent lateral boundary scheme for limited-area primitive equation models, Mon. Wea. Rev., 104, 744—755.
- [ 6 ] Orlandi, I., 1976, A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows, J. Comput. Phys., 21, 251—269.
- [ 7 ] Davis, H. C., 1983, Limitations of some common lateral boundary schemes used in regional NWP models, Mon. Wea. Rev. 111, 1002—1012.
- [ 8 ] Anthes, R. A., 1983, Review—regional models of the atmosphere in middle latitudes, Mon. Wea. Rev., 111, 1306—1335.
- [ 9 ] Pielke, R. A., 1984, Mesoscale meteorological modeling, 363—368, Academic Press.
- [ 10 ] 廖洞贤、王两铭, 1986, 数值天气预报原理及其应用, 气象出版社。
- [ 11 ] 张玉玲、吴辉庭、王晓林, 1987, 数值天气预报, 科学出版社。
- [ 12 ] 赵思雄, 1988, 梅雨锋上扰动发生发展的能量分析, 大气科学特刊。
- [ 13 ] 匡本贺, 1988, 夏季不同时段暴雨数值试验的对比分析, 大气科学, Vol. 12, No. 3, 333—336.

# EFFECTS OF THE LATERAL BOUNDARY CONDITIONS OF THE LIMITED-AREA MODEL ON FORECASTING

Zhao Sixiong\*    Zhang Baoyan\*

## ABSTRACT

In this study, several lateral boundary conditions, including fixed, radiational and time-dependent lateral boundary conditions, are tested. It is found that the results are greatly improved when the time-dependent lateral boundary conditions are used. Therefore, once the machine conditions permit, it is desirable to adopt a scheme for the better treatment of the lateral boundary conditions or set about developing a nested grid model with coarse and fine meshes.

---

\*Affiliated with the Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica