

移动型套网格正压模式 预报台风路径的试验

季晓阳

吴辉璇

(国家海洋局海洋环境预报中心)

(北京大学地球物理系)

提 要

本文采用移动型套网格正压原始方程模式,对台风路径的预报进行了试验。为保证大小网格连接处的协调,每积分二步,对小网格边界第二圈实施九点平滑。计算表明:这个处理方法能保证小网格边界附近的连续和光滑。我们试验了几个例子,多数结果表明:套网格模式的预报效果比一般正压模式有不同程度的提高。

一、前 言

在数值预报差分模式中,提高分辨率对改进预报效果甚为重要。但缩小格距会使计算工作量大幅度增加,为了提高我们所感兴趣的那个地区或那个系统的分辨率,而又不增加很多的计算量,人们采用了大小网格嵌套的技术,小网格的范围还可以随系统而移动。该方法国外已用于业务预报,近几年来我国这方面也做了不少工作,有的也已投入业务使用[1]。

我们这里采用了两个方向相互作用的移动型套网格的方案。该方案以正压原始方程为基础,用小网格分辨台风中心附近的气压场特征,小网格随台风中心移动而移动。大网格格距为200公里,小网格格距为100公里。用五个台风进行了实例试验,结果表明,套网格的方案是可行的,预报效果有不同程度的提高。

二、基本方程组及模式说明

(一) 基本方程组

考虑地图放大因子的正压原始方程组为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + m \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) - f v = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + m \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + f u = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + m \left[u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} + \phi \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

其中 u 、 v 为水平方向的风速分量； ϕ 为位势高度； m 为地图投影放大因子；地转参数 $f = 2\omega \sin\varphi$ ， ω 为地球自转角速度，这里取为 $7.29 \times 10^{-5} \text{秒}^{-1}$ ， φ 为纬度。

(二) 差分格式

方程中平流项用半动量格式，其余各项用中央差。设 A 为某一物理量，引用以下符号：

$$A^x = \frac{1}{2} \left(A_{i+\frac{1}{2},j} + A_{i-\frac{1}{2},j} \right)$$

$$A_x = \frac{1}{d} \left(A_{i+\frac{1}{2},j} - A_{i-\frac{1}{2},j} \right)$$

$$\bar{A}_x = \frac{1}{2d} \left(A_{i+1,j} - A_{i-1,j} \right)$$

其中 d 为格距，(1)–(3)式所对应的差分形式为：

$$\bar{u}_t^t = -m \left\{ \bar{u}^x u_x^x + \bar{v}^y u_y^y + \bar{\phi}^x \right\} + f v \quad (4)$$

$$\bar{v}_t^t = -m \left\{ \bar{u}^x v_x^x + \bar{v}^y v_y^y + \bar{\phi}^y \right\} - f u \quad (5)$$

$$\bar{\phi}_t^t = -m \left\{ \bar{u}^x \phi_x^x + \bar{v}^y \phi_y^y + \phi \left(\bar{u}_x^x + \bar{v}_y^y \right) \right\} \quad (6)$$

(三) 网格范围及步长

大网格的范围包括亚洲大部及西北太平洋西部，小网格的范围将随台风的移动而移动。大网格预告区域内共有 $35 \times 40 = 1400$ 个格点，空间步长为200公里，时间步长为10分钟。小网格区域内共有 $23 \times 23 = 529$ 个格点，空间步长为100公里，时间步长为5分钟。

(四) 初值和边值

1. 输入大网格500毫巴的格点值作为高度场的初值。在该试验中，我们是通过人工读数的方法取得的。对于台风环流，海洋上往往没有资料，我们采用了朱永提等^[1]所用的嵌入轴对称的台风场作为初值，即设

$$Z(r) = Z_B - \frac{\Delta Z}{\exp \left(\left(\frac{1.7r}{R} \right)^2 \right)} \quad (7)$$

式中 r 为某格点到台风中心的距离， R 为台风的平均半径， $\Delta Z = Z_B - Z_0$ ，此处 Z_0 和 Z_B 分别为台风中心和台风环流外围500毫巴高度。我们一般取台风环流外围500毫巴高度为580位势什米，台风中心强度取为(550—565)位势什米。

2. 大网格风场初值的第一近似值为地转风，即

$$u = -\frac{1}{f} \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{f} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (8)$$

由于地转风在低纬地区是不适用的，所以我们对 f 作了如下订正：

对东海台风

$$f = 2\omega \sin\varphi \quad \varphi > 27^\circ \text{N}$$

$$f = 2\omega \sin 27^\circ$$

$$\varphi \leq 27^\circ \text{N}$$

对 20°N 以南的南海台风

$$f = 2\omega \sin \varphi$$

$$\varphi > 20^\circ \text{N}$$

$$f = 2\omega \sin \varphi + \frac{20 - \varphi}{20} 2\omega \sin 10^\circ \quad \varphi \leq 20^\circ \text{N}$$

像国内一些模式通常作法一样,我们对上述第一近似值作初值化处理:

(1) 应用欧拉后差,即

$$\begin{aligned} A^* &= A^n + \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)^n \Delta t \\ A^{n+1} &= A^n + \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)^* \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

求得 $(n+1)$ 时刻的 u 、 v 、 ϕ 值.

(2) 利用 $n+1$ 时刻的 u 、 v 、 ϕ 值再应用欧拉后差,即

$$\begin{aligned} A^{**} &= A^{n+1} + \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)^{n+1} (-\Delta t) \\ A^n &= A^{n+1} + \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)^{**} (-\Delta t) \end{aligned} \quad (10)$$

求得 n 时刻的 u 、 v 、 ϕ 值.

(3) 恢复初始高度场,保留计算得到的风场

重复上述计算过程,一般要做18—30次往返迭代,便可认为所得到的风场是与初始高度场相适应的风场.上述初值化所需要的时间,相当于用欧拉后差作3—5小时预报的计算时间.

3. 小网格的初值是在大网格初值化后,按下述方法给出.大小网格相重合的格点(见图一中的 o 点),由大网格直接传送给小网格,其余的点通过内插给出.

4. 大网格取定常边界值,小网格的边界值由大网格提供.

三、时间积分方案和大小网格间的相互作用

(一) 时间积分方案

为了抑制高频波,时间积分采用欧拉后差(9)和中央差

$$A^{n+1} = A^{n-1} + \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)^n 2\Delta t \quad (11)$$

交替进行.每六小时中,第一小时用欧拉后差,后五小时用中央差,循环做下去,直至48小时甚至更长的预报时效.中央差用三步

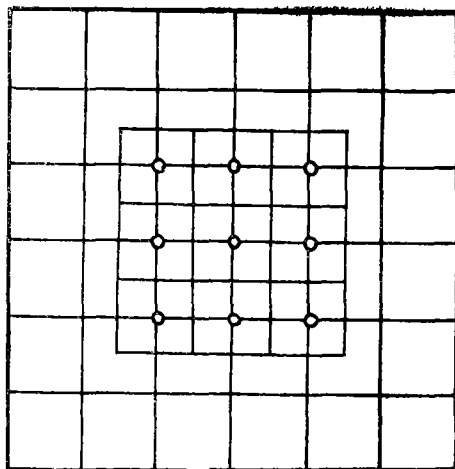


图1 小网格在大网格中的相对位置

法起步。

由于小网格格距是大网格的二分之一,为保证计算稳定,小网格的时间步长也只能取为大网格的二分之一。因此,在积分过程中,为保证同步,大网格积分一步,小网格需积分两步。

为抑制计算不稳定,每小时需对大网格边界第二圈进行一次九点平滑,每24小时对大网格全场进行一次五点平滑。

(二) 大小网格交界处的连接

为保证大小网格连接处的协调,小网格每积分两步后,对小网格边界第二圈进行一次九点平滑^[2]。我们计算的几个例子表明,这样处理能够保证边界附近的连续和光滑,大网格中的系统能穿过边界进入小网格。我们曾做了下述试验,考虑小网格相对于大网格不移动,台风从南部边界进入小网格区,模式计算结果表明,台风进入小网格后系统是清楚的,边界附近没有出现不连续的现象。

个例计算的结果表明,大小网格边界的这种处理是简单可行的。

(三) 小网格对大网格的反馈

在单向作用的情况下,只有大网格对小网格提供不定常的边界值,小网格对大网格的计算毫无影响。从物理上讲就是大尺度运动决定小尺度运动。而实际情况是小尺度运动往往对大尺度运动也有反馈作用。所以应该考虑小网格对大网格的反馈作用。在每一次小网格积分后,把包含在小网格内的大网格点的值用小网格的九点平均值来代替。个例计算表明,考虑反馈作用的效果要比不考虑的好。

(四) 小网格的移动

由于小网格的位置要随台风中心移动,所以每二小时要判别一次台风中心的位置。若台风中心在小网格内移动了两个格距,则要把小网格的中心移到新的台风中心的位置上。对于新的位置上的小网格,保留两个小网格区域重合部分的值,其余的值仍由大网格的值内插而得到。

四、试 验 结 果

我们用该模式对7708、7909、8006、8007、8114等五个台风进行了试验,下面分别给出这些试验的结果。

图二给出7708号台风(起报时间:77.9.9⁰⁸,下同)的预报路径。前24小时正压模式(以下简称模式Ⅰ)不如移动性套网格正压模式(以下简称模式Ⅱ)报得好,后24小时模式Ⅰ比模式Ⅱ报得好。48小时已折向西并在上海以南登陆,而模式Ⅱ继续向西北行。

7909号台风(79.8.14²⁰)的预报路径如图三所示,这是一个在海上转向的台风。模式Ⅱ报出了在海上转向的趋势,但路径偏西。24、36小时的位置与实况比较接近,误差在0.5个纬距之内。而模式Ⅰ的预报路径更加偏西,且登陆后再转向(仅计算了48小时)与实况相差较大。

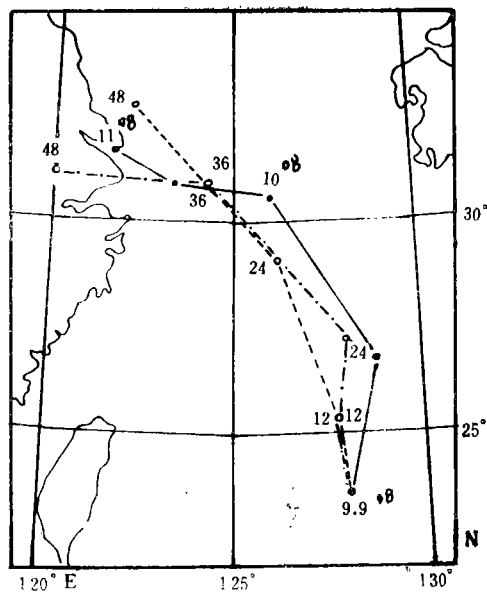


图2 7708号台风路径

—●— 实况
-○- 正压模式
-×- 套网模式

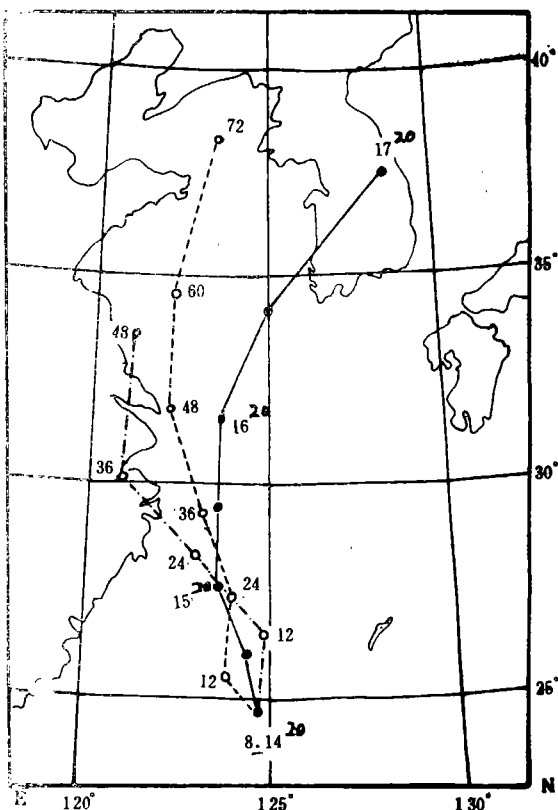


图3 7909号台风路径

图四给出8006号台风 ($80.7.9^{20}$) 的预报路径。模式Ⅰ的预报结果略好于模式Ⅱ。前24小时位置一样,后24小时模式Ⅰ登陆点报得偏北,而模式Ⅱ登陆点报得较好,但登陆时间晚了一点。

8007号台风 ($80.7.21^{08}$) 的预报路径如图五所示。从图中可以看出,模式Ⅰ的预报路径显然比模式Ⅱ好,且模式Ⅰ的路径与实况也很接近。

图六给出了8114号台风 ($81.8.30^{20}$) 的预报路径,模式Ⅰ和模式Ⅱ都报出了转向的趋势,但速度较快,与实况偏差较大。从路径趋势看,模式Ⅱ比模式Ⅰ报得好。

从上面的结果可以看出,除了7708号台风后期模式Ⅱ的预报比模式Ⅰ差外、其余的均有不同程度的提高。

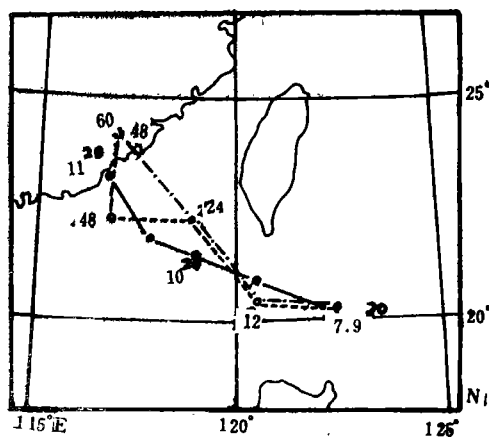


图4 8006号台风路径

(图4, 5, 6说明同图2)

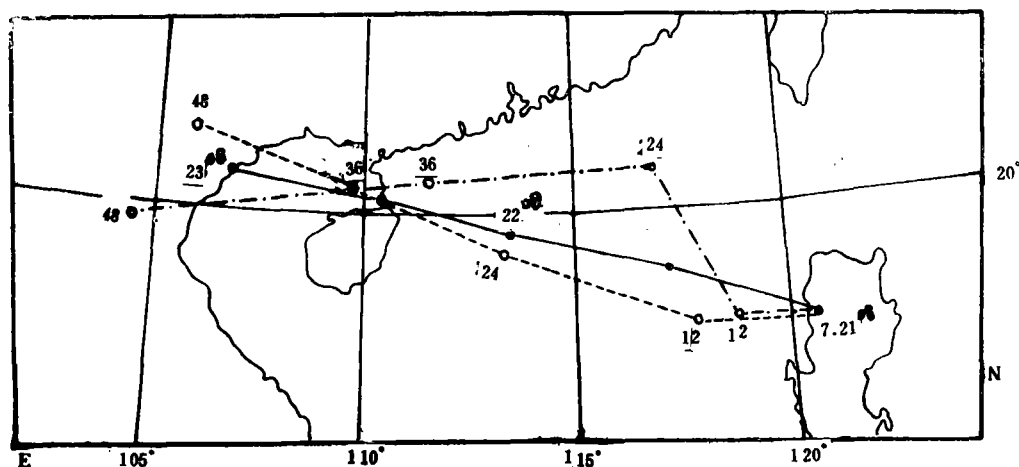


图5 8007号台风路径

五、小 结

我们对正压套网格模式进行了上述试验。该方案用对小网格边界进行九点平滑的方法,使大小网格连接处保持连续和协调。大小网格的相互作用是通过把包含在小网格内的大网格点的值,用其周围小网格的九点平均值来代替而完成的。计算结果表明,该方案还是简单可行的。72小时后台风环流仍然比较清楚,多数台风的预报结果比不套网格的有所改进。

由于我们计算的个例较少,尚需今后进一步检验提高。

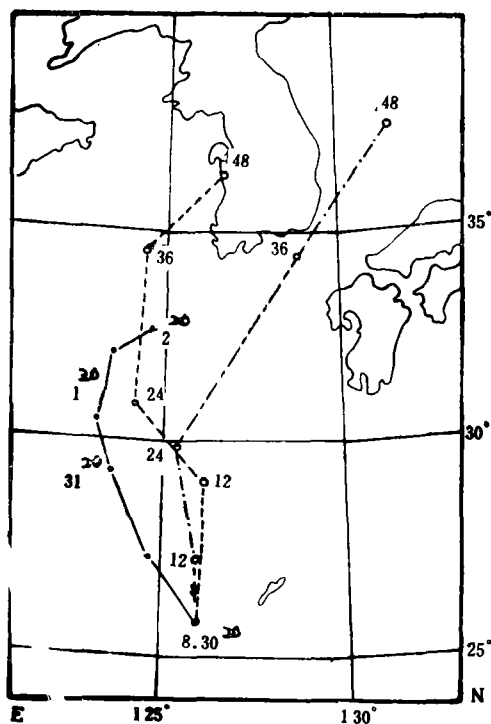


图6 8114号台风路径

参 考 文 献

- [1] 朱永崑等, 台风路径预报套网格模式的试验, 气象学报, Vol.40 (1982), NO.3, 257-270.
- [2] Gary, W.L. and Elsberry, Forecasts of Typhoon Irma Using a Nested-Grid Model, Monthly Weather Review, Vol.104 (1976), 1154-1161.

AN EXPERIMENT FOR NUMERICAL PREDICTION OF TYPHOON TRACKS WITH A MOVING NESTED BAROTROPIC MODEL

Ji Xiaoyang

(Marine Environmental Forecasting Center of NBO)

Wu Huiding

(Department of Geophysics, Beijing University)

Abstract

The experiments for typhoon track forecast are performed by using a barotropic primitive equation model with moving nested grid. In order to reduce the difference between the coarse and the fine meshes, the smoothing operation is applied at the lateral boundary of the fine grid. The experiments show that the use of model with moving nested grid could improve the prediction of typhoon tracks.