

初始场结构对台风路径影响的数值试验

叶更新* 马镜娴

(南京气象学院气象学系, 南京, 210044)

摘要 设计了一个套网格的准地转正压模式, 对模式的可用性进行了检验。用该模式实施了两组不同初始场的试验, 分析了初始场结构对台风路径的影响, 指出台风移动具有内在随机性的特征。

关键词 正压模式, 数值试验, 初始场结构, 台风移动

分类号 P435

近来, 关于热带气旋移动的数值研究有了较大进展。文献[1~4]研究了 β 效应和非线性平流对台风结构和移动的影响; 罗哲贤^[5,6]引进局地热源项, 模拟出了逆时针打转等异常路径; 田永祥等^[7]发现, 台风移动过程中, 其环流区域内, 空间尺度不等的大小涡旋可以共存。这些大小涡旋之间的相互作用对台风的移动都有影响能力。因而这种相互作用值得仔细研究。注意到文献[1~6]中模式的水平分辨率一般为40~50km, 用来描述小涡旋的细致结构有一定局限, 本文设计了一个套网格的准地转正压模式, 在台风环流区域水平格距为20km。其余区域为40km。基础试验的结果初步表明, 该模式可以长时间稳定积分, 同时相应连续系统的频散生成系统的对称属性亦能保持。在此基础上, 对台风结构、移动和内在随机性等问题做了进一步的数值研究。

1 套网格和数值计算方案

取准地转正压涡度方程

$$\frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 \psi + J(\psi, \nabla^2 \psi) + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

式中 ψ 为地转流函数, $\beta = df/dy$, f 为柯氏参数。将 ψ 分为平均流函数 $\bar{\psi}$ 与扰动流函数 ψ' 之和。再令基流处处为零, 只研究扰动流函数的演变。这与文献[1]的做法相同。

采用双向二重活动套网格方案。粗网格固定, 计算区域是一个边长为2400km的正方形, 水平格距40km, 计 61×61 个格点。细网格随台风中心移动, 以使台风环流区域保持较高的分辨率。细网格区域是一个边长为1200km的正方形, 水平格距20km, 也有 61×61 个格点。

边界处理, 粗网格边界与文献[1]相同。即在南北边界处令扰动流函数 ψ' 为零; 在东西边界同周期性边条件。在细网格边界上, 扰动流函数 ψ' 的取值由粗网格格点值内插提供。这里采用线性插值方案^[8]。

* 1990届研究生, 现在吉林省通化市气象局工作
收稿日期: 1993-09-06; 改回日期: 1994-03-15

若用 q 代表待求格点上的值, q_i 表示第 i 个格点上的观测值 ($i=1, 2, 3, \dots, m$), 则

$$q = \sum_{i=1}^m W_i q_i \quad (2)$$

式中 W_i 为权重系数。

具体用以下插值公式计算(图 1)

$$\psi_A = \frac{1}{4}(\psi_1 + \psi_2 + \psi_7 + \psi_8) \quad (3)$$

$$\psi_B = \frac{1}{4}(\psi_4 + \psi_5 + \psi_7 + \psi_8) \quad (4)$$

$$\psi_C = \frac{1}{4}(\psi_4 + \psi_7 + \psi_6 + \psi_9) \quad (5)$$

数值计算时用加速利步曼法解泊松方程。时间积分采用蛙跃格式。空间积分采用中央差分计算线性项。非线性项计算用荒川格式。为了提高模式的精度和稳定性,采用双向方式。用二次曲面拟合法求出台风中心位置,积分 5 个模式日。

由于粗细网格的空间格距不同,为了使计算稳定,在粗、细网格区域所采用的时间步长亦不同。这里,粗细网格区域所取时间步长的比值与空间格距的比值相应。即粗网格的时间步长为细网格区域的 1 倍。

试验 1 初始对称流场(图 2a)。初始涡度场为^[1]:

$$\zeta_0(r) = (2V_m/r_m)(1 - 0.5(r/r_m)^b)\exp((y_b)(1 - (r/r_m)^b)) \quad (6)$$

式中 $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$, (x_0, y_0) 为初始时刻热带气旋中心的坐标。 V_m 为最大风速, r_m 为热带气旋中心与出现最大风速处的距离。 b 为形状参数, 令 $b=1$, $V_m = 40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $r_m = 100\text{km}$ 。

试验 2 初始非对称场(图 2b)。取以下形式^[3]:

$$\psi = \psi_0 + \psi_a \quad (7)$$

其中, ψ_0 为对称流场。 ψ_0 系由(3)式用泊松迭代方法求出; ψ_a 为扰动流函数场:

$$\psi_a = -\psi_M(r/d^2)\exp(-r^2/d^2(\cos(\theta-\alpha))) \quad (8)$$

式中 d 为偶极子扰动极大、极小值处与台风中心的距离。 α 为极值轴与 x 轴之间的交角。 ψ_M 为扰动强度, 且令 $\alpha=45^\circ$, $d=80\text{km}$, $\psi_M=2.5 \times 10^5 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2 试验结果

2.1 基础试验结果

对于设计的一个模式,判别其可靠性是一个重要的问题。罗哲贤、马镜娴*提出了一个检验台风移动模式计算方案精度的方法。他们认为,如在方程(1)中略去平流项,由于能量频散,在初始对称圆形涡旋的东侧,将会生成一个高值系统,或一个低(台风)一高一低值系统的波列。这个高值系统或波列中心的成员,不论积分时间多长,均始终保持沿 x 轴对称。这个连续

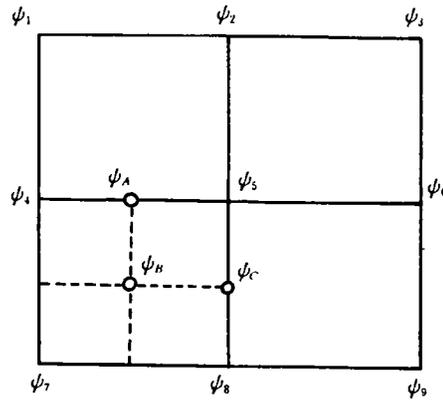


图 1 线性插值方案

* 一个台风移动模式计算方案精度检验方法, 大气科学, 1994 年待刊

系统的属性应该在离散的数值模式中维持。用本文套网格模式的线性项(即略去平流项)计算 12 个模式日,结果表明:这一属性确实始终存在。图 2c 给出了第 72h 的扰动流函数场,可见:无论是台风环流,还是其东侧的高值系统,场沿 x 轴对称。这个高值系统的出现,是由于 β 效应的结果。

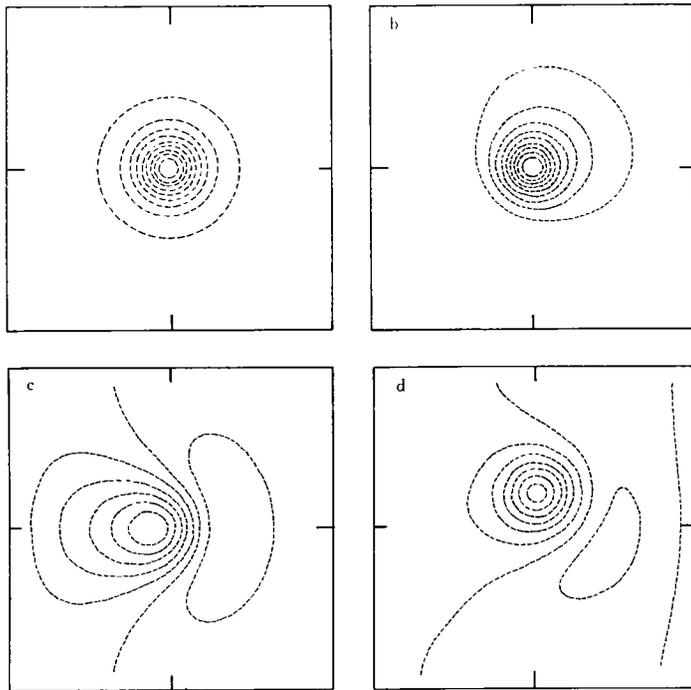


图 2 试验 1~2 中扰动流函数的分布

a. 试验 1 初始场, b. 试验 2 初始场, c. 线性模式第 72h, d. 试验 2 第 72h

2.2 不同结构初始场的试验结果

试验 1 中,初始台风环流为对称分布,在 24h,台风中心正东和正西分别出现了最大和最小风速区,这说明在 24h 以前,非线性的影响尚不明显。而在 48h 时,最大风速区已移到台风环流的东北象限;72h 时,这一态势仍然维持(图略)。与之相应,台风一直向西北方向移动(图 3 实线)。试验 2 中,初始台风环流的最大风速区位于西南象限。在 24h 时移到了东南象限;36h 时,移到了台风中心的正东方向。72h 时,又移到了东北象限(图 2d),此后一直维持在东北象限。这种结构随时间的变化与试验 1 的情况明显不同。相应地,其路径也有所不同。试验 2 中,在前 24h 以内,台风向偏东方向移动。而后向西北方向移动(图 3 虚线)。

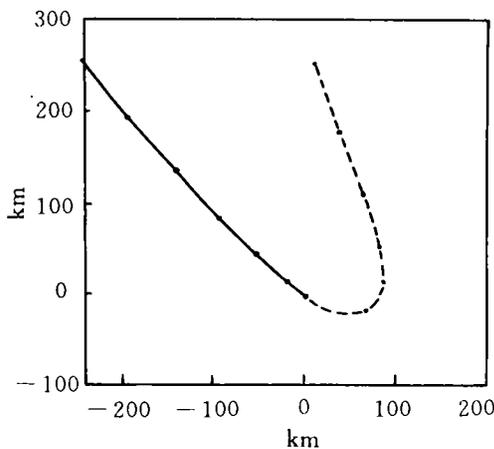


图 3 试验 1~2 中台风路径 实线:试验 1;虚线:试验 2

陈联寿* 分析 SPECTRUM 期间 3 个实测转向台风的结构与路径时,曾指出,在远离转向点以前,台风环流的最大风速区均位于东北象限,相应地台风均向西北方向移动。另外在 9012 号台风(yancy)移动过程中,显示出逆时针打转现象。台风先向偏西方向移动,到 20 日 12 时,台风中心转向偏东,20 日 18 时又转向偏西北。根据 9012 号台风加强观测的分析,在 8 月 20 日 12 时,该台风环流的最大风速区正好在西南象限。这与本文试验 2 的结果有一些定性一致。

此外,从上面两个试验结果可见,即使初始场环流存在明显差异,经过一段时间的演变,它们似乎都趋于一种类似的结构,即最大风速区位于东北象限。

3 关联维数的计算结果

在试验 1~2 中,每隔 3min 计算一次台风中心的位置。根据台风中心位置的横坐标,可以求出相应的台风中心沿东西方向的移速分量 v_x 。应用前 3 个模式日的输出量,可以得到台风中心沿东西方向移速分量序列 $\{v_x\}$ ($i=1, 2, 3, \dots, 1440$)。用文献[9]的方法,对这两个移速序列计算关联维数。关联维数的计算结果:试验 1 是 1.93;试验 2 是 2.21。这说明:(1)台风中心移速序列具有分维结构,意味着台风移动具有内在随机性。(2)试验 2 中台风移动路径较为复杂,相应的分维数值也较大,这意味着分维数的大小似乎能够描述台风移动路径的复杂程度。

需要指出的是,如用前 48h 或前 24h 的台风中心移速序列来计算分维数,则台风移动的内在随机性表现得并不明显。因而,在研究台风移动路径的动力学结构时,应该选用足够长时间积分的结果。

4 讨 论

在文献[7]中,田永祥等认为大小涡旋的相互作用对台风路径有重要影响。为了正确描述小涡旋的细致结构,需要尽可能高的水平分辨率。在整个计算区域用细网格又需要大量的计算机时。故本文设计了一个粗细嵌套的计算方案。经计算,无论是频散生成的对称性质,还是不同初始场结构台风的移动状况,均得到了较为合理的结果。

但本文也有不足之处,如线性插值方法确定细网格边界值,可能过于简单,用其它非线性插值方案继续试验很有必要,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Chan J C, Williams R T. Analytical and numerical studies of the beta effect in tropical cyclone motion. *J Atmos Sci*, 1987, 44(6):1257~1265
- 2 Fiorino M, Elsberry R L. Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. *J Atmos Sci*, 1989, 46(5): 975~990
- 3 Smith R K, Ulrich W. A numerical study of tropical cyclone motion using a barotropic model. *Q J R Meteor Soc*, 1990, 116(2):337~362
- 4 李天明,朱永根.热带气旋的分析和模拟 I. *中国科学 B 辑*, 1990, (1):104~112
- 5 罗哲贤.热带气旋逆时针打转异常路径的可能原因. *中国科学 B 辑*, 1991, (7):769~775
- 6 罗哲贤.热带气旋移动的数值模拟和临界点现象. *气象学报*, 1992, 50(4):413~419
- 7 Tian Yingxiang, Luo Zhexian. The vertical structure of β -gyres and its effect on typhoon motion. *A Atmos Sci*, 1994, 11(1):

* Chen Lianshou. The effect of different motion scales interaction and structure features on tropical cyclone motion. *WMO' TD*, 1991; No. 472: 1~15

43~50

8 丁一汇. 天气动力学中的诊断方法. 北京: 科学出版社, 1989. 11~18

9 Grassberger P, Procaccia I. Dimensions and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamics approach. Phys. 1984, (13D), 34~54

NUMERICAL EXPERIMENTS WITH EFFECTS OF INITIAL FIELD STRUCTURES ON TYPHOON TRACK

Ye Gengxin Ma Jingxian

(Department of Meteorology, NIM, 210044, Nanjing, PRC)

Abstract The paper proposes a nested quasi-geostrophic barotropic model with its applicability verified. Two experiments are conducted with different initial fields available and analysis is performed of effects of the field structure on typhoon tracks, indicating that random nature is inherent in typhoon motion.

Keywords barotropic model, numerical experiment, initial field structure, typhoon motion