

台风移速突变的数值研究*

马镜娴 罗哲贤

(南京气象学院, 南京, 210044)

提 要

用准地转正压模式, 在无环境气流的情况下, 实施了 8 组时间积分大于 5 个模式日的试验。在模式大气台风移动的过程中, 清楚地显示了移速突然变化的现象。台风移速突然变化与前期台风环流的非对称结构之间存在着密切的联系。最后分析了台风环流非规则结构对路径的影响。

关键词: 台风, 移动, 突变, 数值试验。

1 引 言

实际大气中, 台风移动速度有时会突然减小, 然后又突然加大, 给台风路径预报带来困难。对台风移速突变物理原因的研究, 可以为这类现象的正确预测提供一些思路。目前, 这方面的数值工作尚很少见。台风移速突变时, 引导气流的速度不一定也有突变, 故移速突变的现象不能全部归因于环境场的作用。

陈联寿^[1]认为, 台风的非对称结构是形成台风移速突变异常路径的一个因子。本文将在无环境流场的情况下, 对台风移速突变问题进行数值研究, 分析非对称结构与移速突变的联系, 以加深对台风移动问题的认识。

2 模式概述和试验设计

模式方程为准地转正压涡度方程:

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

式中 ψ 为地转流函数, $\beta = df/dy$, f 为柯氏参数。 β 平面中线处 $\varphi = 20^\circ\text{N}$ 。

计算区域有 101×101 个格点, 格距为 50km。取周期性侧边条件, 令环境风场处处为零。时间步长为 10min。所有试验的积分时间均大于 5 个模式日。

本文设计与实施了 8 个试验。在试验 1—5 中, 初始时刻的涡度场为:

$$\xi_{\alpha}(r) = (2V_m/r_m)(1 - 0.5(r/(S_i r_m))^b) \exp\{(1/b)(1 - (r/(S_i r_m))^b)\} \quad (2)$$

式中 $i=1, 2, 3, 4$ 分别相应于台风区域的第 1, 2, 3, 4 象限, 即 NE, NW, SW, SE 象限。 S_i

* 1992 年 12 月 31 日收到原稿, 1993 年 3 月 30 日收到修改稿, 受国家“八五”科技攻关项目 85-906-07 资助。

是决定台风初始涡度场对称程度的参数。若 $S_i \neq S_j (i, j = 1, 2, 3, 4, i \neq j)$ ，则第 i 象限的 $\xi_0(r)$ 与第 j 象限的 $\xi_0(r)$ 两者不同，为非对称结构。反之，若 $S_i = S_j$ ，则为对称结构。 $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ ， (x_0, y_0) 为台风中心的坐标。 V_m 为最大风速， r_m 为台风中心至最大风速处的距离， b 为形状参数。令 $V_m = 20\text{m/s}$ ， $r_m = 100\text{km}$ ， $b = 1$ 。

试验 1 $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = 1.0$ ，初始圆形对称涡度场，积分 7 个模式日。

试验 2 $S_2 = S_4 = 1.00$ ， $S_1 = 1.10$ ， $S_3 = 0.90$ 。初始涡度场沿 SW—NE 方向非对称。用泊松方程迭代求解可得初始流函数场 $\psi(x, y, 0)$ 。在 $\psi(x, y, 0)$ 场上，在 SW(NE) 象限等值线密集(疏松)。这种流型记为 SW—NE 向非对称分布(图 1a)。积分 5 个模式日。

试验 3 $S_2 = S_4 = 1.00$ ， $S_1 = 1.15$ ， $S_3 = 0.85$ 。也是 SW—NE 向非对称分布的初始场。非对称的程度比试验 2 要大些(图 1b)。积分 5 个模式日。

试验 4 $S_2 = S_4 = 1.00$ ， $S_1 = 1.05$ ， $S_3 = 0.95$ 。初始场 SW—NE 向非对称的程度比试验 2 要小些(图 1c)。积分 5 个模式日。

试验 5 $S_2 = S_4 = 1.000$ ， $S_1 = 1.025$ ， $S_3 = 0.975$ 。初始场 SW—NE 向非对称的程度最小(图 1d)。积分 5 个模式日。

在试验 6—8 中，初始时刻的涡度场为：

$$\xi_0(r) = (2V_m/r_m)(1 - 0.5(r/r_m)^b) \exp\{(1/b)(1 - (r/r_m)^b)\}(1 + RQ) \tag{3}$$

式中，在台风环流以外区域 $RQ = 0$ 。在台风环流区域内，令 $RQ = \text{RAN}(0) \times K$ 。在不同的格点上， RQ 取不同的值。这里 $\text{RAN}(0)$ 表示均值为零，均方差为 0.25 的一组随机数， K

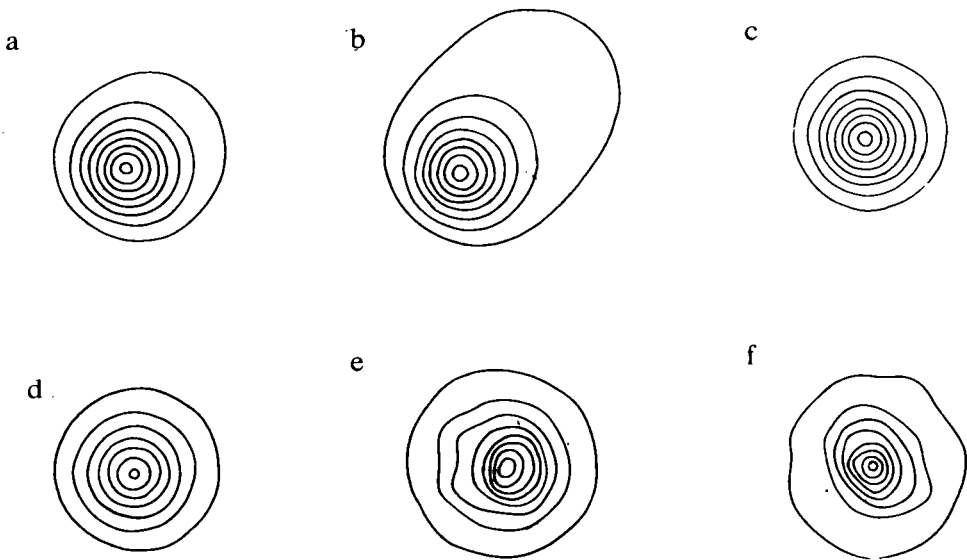


图 1 试验 2—5 中，初始流函数场及试验 7—8 中初始涡度场示意图。

(a. 试验 2, b. 试验 3, c. 试验 4, d. 试验 5, e. 试验 7, f. 试验 8)

为随机扰动的振幅。若 $K=0.80$, 这意味着, $RAN(0) \times K$ 的取值落在 $(-0.20-0.20)$ 范围内的频率约为 67%。引进 RQ 项以后, 初始涡度场不再是圆形对称分布, 也不是 SW—NE 向非对称分布, 而是总体上保持圆形但圆形对称性的细致结构已被破坏的非规则分布。用这种途径粗糙地描述中小尺度系统对台风环流的影响。

试验 6 令 $K=0.40$ 。初始涡度场为弱非规则分布。

试验 7 令 $K=0.80$ 。初始涡度场为中等非规则分布(图 1e)。

试验 8 令 $K=1.20$ 。初始涡度场为强非规则分布(图 1f)。

试验 6—8 均积分 8 个模式日。

3 计算结果

3.1 模式大气中台风移速突然减小的现象

在试验 1 中, 初始流函数场是圆形轴对称的。随着积分时间的增加, NE(SW)象限等值线分布不断密集(疏松), 到第 30 个模式小时左右 NE 象限密集 SW 象限疏松的非对称分布(记为 NE—SW 向非对称分布)已经形成。其后, 台风移速虽有些变化, 但没有任何移速突变现象(图略)。

在试验 2 中, 初始流函数场呈 SW—NE 向非对称分布。在第 36—60 模式小时期间, 台风移速比较均匀, 移速约为 33km/6h。第 60 模式小时以后, 移速加大。第 72—78 模式小时期间, 移速达 73km/6h。接着移速突然减小, 在第 78—96 模式小时, 平均移速仅 18km/6h, 与第 72—78 模式小时相比, 移速只有前者的 1/4。其中, 第 84—90 模式小时台风移速更小。第 96 模式小时以后, 台风又加速移动(图 2a)。

这种移速突然减小的现象, 在试验 3 中亦有清楚的表现。在第 60—66 模式小时, 台风移速约为 35km/6h。接着移速突然减小。在第 66—78 模式小时, 移速仅为 6km/6h 左右, 约为前者的 1/6。第 84—90 模式小时移速又加大(图 2b)。

上述台风移动过程中移速突然变化的现象与实际大气中某些台风路径有相似之处。图 3 给出了 7203 号台风的路径图(引自文献[2])。在 7 月 21—25 日的一次逆时针打转过程以后, 26—28 日移速加快, 28—29 日突然减速, 29—30 日移速又增大。与 7203 号台风类似的突然减速现象, 在同一月份的另外两次台风路径上也有清楚的反映(7204、7207 号台风, 图略)。

3.2 移速突然减小与逆时针打转路径的联系

在试验 4, 5 中, 初始流函数场亦为 SW—NE 向的非对称分布。参数 S_1 分别为 1.05 和 1.025; 参数 S_3 分别为 0.95 和 0.975。结果: 在第 60—72 模式小时都出现了逆时针打转的路径(图 2c, 2d)。这与试验 2, 3 的情况不同。在试验 2, 3 中, 参数 S_1 分别为 1.10 和 1.15; 参数 S_3 分别为 0.90 和 0.85。相应的 SW—NE 向非对称程度比较强, 在第 60—108 模式小时期间, 没有出现打转而是显示出移速突然减小的现象。据此看来, 移速突然减小和逆时针打转两者之间并非毫无联系, 它们似乎是 S_1, S_3 构成的参数平面上, 不同参数范围的两种运动形态。

由图 2c, 2d 还可看到, 在第 60—72 模式小时以前, 第 24—36 模式小时附近, 另有一个逆时针打转过程。第 60—72 模式小时的打转, 可视为前一个打转经过一定时间间隔以

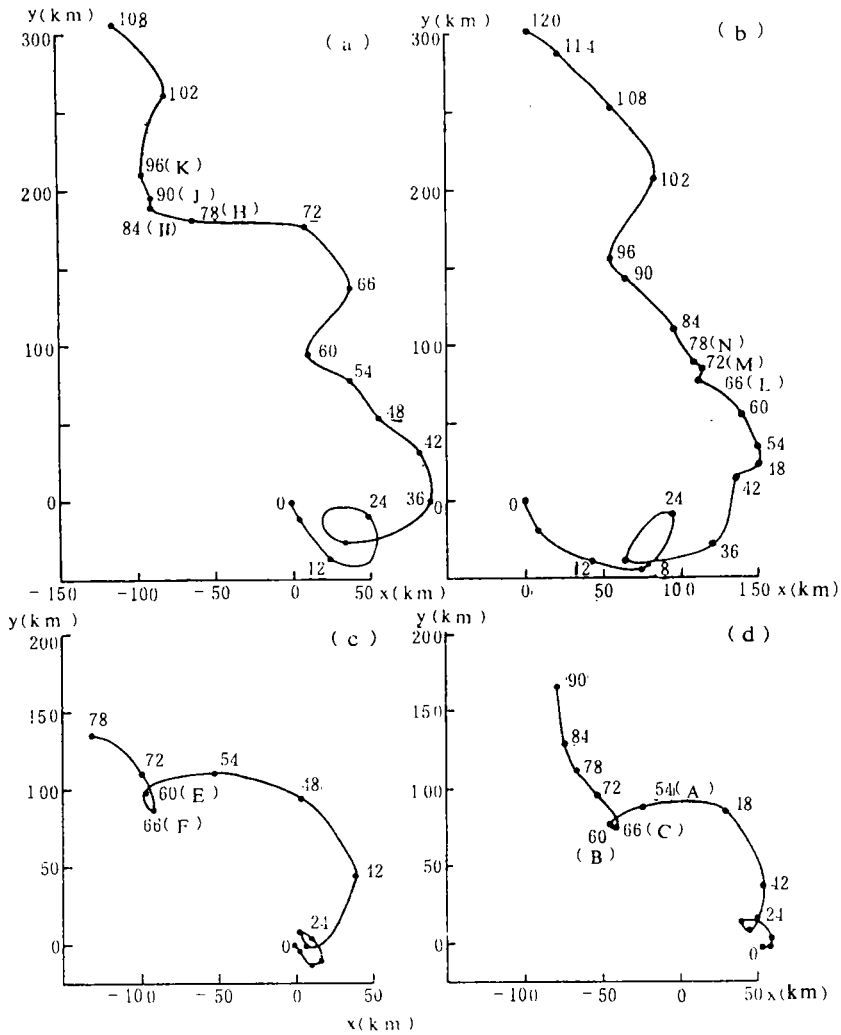


图 2 试验 2—5 中台风移动路径图

(a. 试验 2, b. 试验 3, c. 试验 4, d. 试验 5, 图中数字为模式小时)

后重复出现的现象。实际大气中,有时在一条台风路径上,也会看到两次逆时针打转的过程,7203 号台风路径即为一例(见图 3)。

在图 2a,2b 上,第 24 模式小时附近各有一次打转。以后这种打转没有重复出现;但出现了移速突然减小的现象。下面对此继续分析。

3.3 移速突然减小与非对称结构的演变

非对称参数 K_{E-W} 按如下方式给定。在模式输出的流函数场上,过台风中心点 O 作一条沿 E—W 方向的直线。该直线与台风区域从里往外数第 N 条闭合等值线相交(令 $N=7$),交点分别为 E 和 W。令 $K_{E-W}=OW/OE$, K_{E-W} 大(小)于 1h,台风区域等值线呈东密(疏)西疏(密)分布。一般而言,东密西疏相应于 NW—SW 向非对称结构;东疏西密相应

于SW—NE向非对称结构。

在试验2—5中,参数 K_{E-w} 随时间的演变如图4所示。为了将图4与图2对照,对于同一个试验的同一个积分时刻,在图4、图2的曲线上注明相同的字母。现对比图2a与图4a(试验2)。在图2a上,移速突然减小发生在第78、84、90模式小时(分别注明H、I、J)时段。在此时段,在图4a上, K_{E-w} 的取值位于低谷内(点H、I、J处)。到第96模式小时,点K已脱离低谷(图4a),第96—102模式小时台风的移动也加快了(图2a)。试验3的情况类似(图2b,图4b)。说明:移速突然减小时段, K_{E-w} 值处于低谷内,两者对应较好。

在试验4,5中,在逆时针打转期间(图2c上点E、F,图2d上点A、B、C),相应的 K_{E-w} 取值也落在低谷内(图4c,4d)。说明逆时针打转与非对称参数 K_{E-w} 取低谷值之间的对应也较好。这些显示出,在静止环境流场中,台风的非对称结构与移速突变和逆时针打转之间有着比较密切的联系。

图4中,移速突然减小(图4a,4b)与逆时针打转(图4c,4d)有一个重要的区别,即前者 K_{E-w} 值虽然位于低谷内,但其值大于1,仍为东密西疏的结构;后者 K_{E-w} 也位于低谷内,但其值可以小于1,呈现短时间的东疏西密的非对称结构。

在试验2—5中,初始流函数场为SW—NE向非对称结构, K_{E-w} 的取值小于1(试验

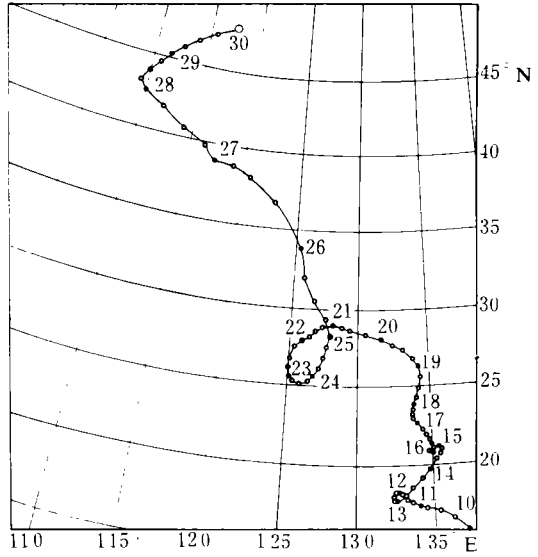


图3 7203号台风路径

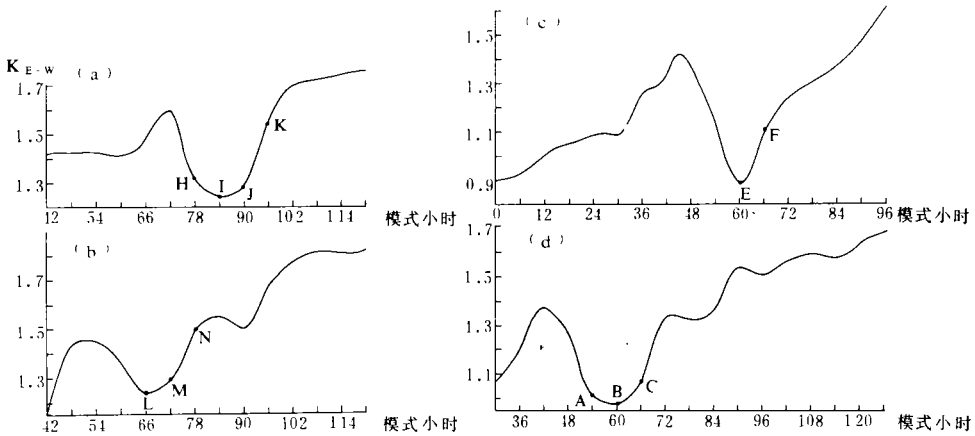


图4 试验2—5中,参数 K_{E-w} 随时间的变化

(a. 试验2, b. 试验3, c. 试验4, d. 试验5)

2, 3, 4, 5 中, K_{E-w} 分别为 0.85, 0.71, 0.90, 0.98)。随着时间的增加, K_{E-w} 的值均呈现增大的趋势。这种增大不是单调式上升, 而是波动式增加, 即有上升, 也有回落。如在试验 4 中, 在第 60 个模式小时附近就有回落(图 4c, 点 E 处)。这种回落也可视为初始时刻 K_{E-w} 取值小于 1 现象的重复出现。这种 K_{E-w} 取值小于 1 重复出现的现象在试验 5 中也存在(图 4d)。相应地, 在路径图上出现了逆时针打转(图 2c, 2d)。

在试验 2, 3 中, K_{E-w} 取值也有回落(图 4a, 图 4b 上, 点 I, L 处), 也可视为初始时刻 K_{E-w} 取值较小现象的重复出现, 但回落的幅度较小(在 1.20—1.30 之间), 达不到初始时刻 K_{E-w} 小于 1 的程度。相应地, 路径图上出现了移速突然减小但并不打转的现象。

现对非对称结构演变的原因继续分析。

Chan 和 Williams^[3]认为, 初始时刻圆形轴对称的涡旋, 在 β 项作用下, 由于台风涡旋诸谐波分量的 Rossby 相速度不同, 随着时间的推移, 台风西半部区域的等值线必然会愈来愈疏, 东半部区域会愈来愈密, 即东密西疏的非对称程度不断增强。同时流型始终对称于 x 轴。陈联寿和罗哲贤^{*}进一步分析了非线性平流对结构演变的作用。认为, 非线性平流使得涡旋等值线密集区和疏散区将绕轴缓慢地旋转, 破坏东密西疏的固定构型, 使 β 项对结构的影响不局限于正东正西方向, 而是散布到各个方位。这样, 如果只有 β 项的作用, 东密西疏的非对称程度将单调增大。加进非线性平流后, 这种非对称程度将波动式地变化, 有时就会出现某种流型重复出现的现象。在试验 2—5 中, 初始流场为西密东疏的流型。在 β 项作用下, 这种初始流型必然会逐渐破坏, 逐渐转换为东密西疏的流型。在 β 项和非线性平流的共同作用下, 这种初始流型的破坏和转换过程又是波动式的而不是单调变化的。因此, 在演变过程中初始状态的不同程度的重复出现就成为可能。我们初步认为, 图 2、图 4 所示的非对称结构的波动式的变化, 移速突然减小和逆时针打转等现象, 是 β 项、非线性平流和初始场非对称结构三者共同引起的。在此基础上, 移速突然减小和前期结构变化两者之间的联系就可能作为一种前兆来应用, 而且这种前兆又有别于单纯的统计相关。对此我们将继续研究。

3.4 台风非规则结构对路径的影响

如上所述, 试验 6, 7, 8 的初始流函数场分别为弱、中等、强非规则分布。随着初始扰动强度的增加, 台风路径也发生了清楚的变化(图 5)。

(1) 弱非规则初始场(试验 6)

在第 144 模式小时以前, 台风向西北方向移动; 随后向西北偏北方向移动(图 5a)。

(2) 中等非规则初始场(试验 7)

在第 132 模式小时以前, 台风向西北方向移动, 呈蛇行路径。其后向偏北、东北方向移动(图 5b)。

(3) 强非规则初始场(试验 8)

在第 96 模式小时以前, 台风向西北方向移动, 摆动幅度更大, 并出现了两次逆时针打转。第 132 模式小时以后, 向偏东方向移动(图 5c)。

如所周知, 若初始时刻为圆形轴对称的台风涡旋, 其移动路径(正常路径)指向西北方

* 陈联寿、罗哲贤, “台风结构形成的两类本质性因子”。

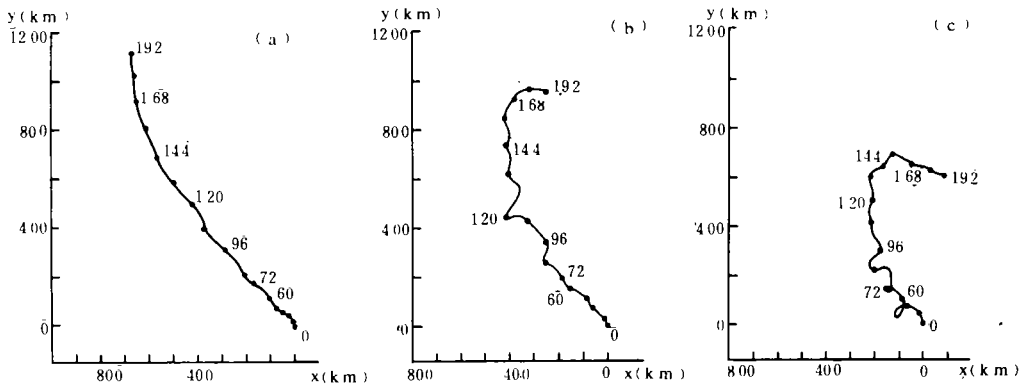


图5 试验6,7,8中,台风移动路径

(a. 试验6, b. 试验7, c. 试验8)

向。在台风环流区域引进初始随机扰动后为非规则的涡旋结构。随着非规则程度的增加,台风移动路径偏离正常路径的程度也增加。由此可以推测,除了台风的NE—SW向和SW—NE向非对称结构以外,台风的非规则结构也可能是影响台风移动的一个重要因子。

4 结束语

台风路径与引导气流之间往往存在相关,引导气流的方向和速度自然成为台风路径预报的主要依据之一。另一方面,台风移动与引导气流之间有时产生大的偏差,出现异常路径。本文数值结果表明,即使环境引导气流处处为零,台风的非对称结构也可激发出移速突然变化的异常路径。台风非对称结构的变化对于移速突变具有某种前兆意义。另外,台风环流的非规则结构也有能力影响台风的移动路径。

参考文献

- [1] 陈联寿. 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展. “台风会议文集”. 北京:气象出版社, 1985.
- [2] 中央气象台. 台风年鉴(1972年).
- [3] Chan J C L and Williams R T. Analytical and numerical studies of beta-effect in tropical cyclone motion. *J Atmos Sci.* 1987. 44: 1257—1265.

A NUMERICAL STUDY ON THE ABRUPT CHANGE OF VELOCITY OF TROPICAL CYCLONE MOTION

Ma Jingxian Luo Zhexian

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044)

Abstract

By using the quasi-geostrophic barotropic model, eight numerical experiments whose integration time is longer than five model days are performed in the case of the basic current being zero everywhere. The abrupt decrease of motional velocity of tropical cyclones is exhibited clearly in the model atmosphere, which is closely related with their initial asymmetric structures. The turning northward and then turning eastward of tropical cyclones are also shown, which correspond to their initial irregular structures.

Key words: Tropical cyclone, Movement, Abrupt change, Numerical experiment.

《气象》1995 年征订启事

《气象》是中国气象局主办的综合性技术刊物。《气象》面向科研、面向应用、面向服务，是广大气象科技人员、气象院校师生的良师益友，也是各有关部门掌握气象科技信息，趋利避害的参谋，是中国自然科学百家核心期刊之一。

1995 年《气象》设立综合评述、研究论文、气象业务现代化、天气气候总结、经验交流、知识介绍、台站园地、资料等栏目，为提高气象业务、服务质量及为气象现代化提供最新的理论与实践相结合的技术信息。还设立防灾减灾、专业气象服务、每月天气、每月气候与影响、新知识专题讲座及开发信息等栏目，为各地政府保护人民生命财产制定防灾措施服务，为各有关部门更好地利用气候资源，提高工农业生产经济效益服务。

《气象》为月刊，每月 21 日出版。每期 16 开 64 页，计算机排版，胶版印刷。定价 3.50 元。国内外公开发行，国内代号 2-495。欢迎各地读者订阅。请各订户于 11 月 15 日前到当地邮局办理订阅手续。

《农业科技通讯》月刊征订启事

《农业科技通讯》为中央级农牧业综合性科技期刊，面向全国、面向基层、面向生产，报道农牧业新成果、新产品，传播最新致富技术和信息

读者对象：农牧业科技人员、推广人员、各级领导、科技户、专业户、农村知青、院校师生和与农业有关人员。

《农业科技通讯》每期订价 2.50 元，全年定价 30 元。全国各地邮局(所)自 10 月下旬办理订阅手续，邮发代号：2-602。

编辑部地址：100081 北京白石桥路 30 号中国农科院院内

广告部电话：8314433-2837