

## 调整模式大气环境场的一种可行性方案及其应用<sup>\*</sup>

周黎明<sup>1)</sup> 何金海<sup>1)</sup> 朱永<sub>不是</sub><sup>2)</sup>

(1) 南京气象学院气象学系, 南京 210044, 2) 上海台风所, 上海 200030)

**摘要** 在考虑大尺度环境场的调整对热带气旋移动路径影响的数值模拟研究中, 应用原始方程 10 层模式, 提出一种实现大尺度环流发生较大调整的试验方案, 试验证实该方案是行之有效的。模拟结果表明大范围的环境场调整有一个从量变到质变的过程, 即环境场调整要经过渐变(其时间尺度大约为 24 h)和突变两个过程, 处于环境场调整过程中的热带气旋, 其路径突变在对流层高层的预示意义似乎要比在中低层的好。

**关键词** 调整, 模式环境场, 可行性方案, 热带气旋路径

**分类号** P435

大气环流是各种天气系统发生、发展和移动的背景条件, 大气环流的调整必将引起明显的天气系统的变化, 这种变化的研究在天气学分析中已取得许多成果, 例如叶笃正等<sup>1)</sup>提出超长波的演变过程表现出突变和缓变的阶段性, 但因数值模式对大气环流调整的模拟和预报尚有一定的困难, 故数值研究工作相对较少。本文在模拟大尺度环境场的调整对热带气旋移动影响的研究中, 提出了一种实现环流调整的方案, 期望能对有关的业务和研究工作有所裨益。

### 1 模式概述

采用  $\sigma$  坐标系原始方程 10 层模式<sup>2)</sup>。控制方程组中考虑了水平动量的水平方向和垂直方向的涡旋扩散项、次网格尺度的涡旋引起的热量的垂直方向和侧向扩散项。模式大气在垂直方向上被等分为 10 层, 其间隔层分别为  $\sigma = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  和 1.0, 垂直速度写在这些层上, 其他变量均写在中间层( $\sigma = 0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85$  和 0.95)上。模式的水平网格距为 80 km, 共有  $81 \times 51$  个网格点。模式的时间积分采用显式时间分离解法, 时间积分步长对适应过程取为 150 s, 对平流过程则取为 300 s。在试验区域的東西方向上取周期性边界条件, 南北方向上取固定边界条件。

初始嵌入的热带气旋环流是一个具有暖心结构轴对称的三维理想的涡旋, 其形式<sup>3)</sup>为

$$\mathcal{Q}(i, j, k) = \mathcal{Q}(k) - \Delta\mathcal{Q}(k) \exp\left(\frac{-4(r(x, y)/R_0)^2}{1 + 1.55(r(x, y)/R_m)^2}\right) \quad (1)$$

式中,  $\mathcal{Q}(k)$  为第  $k$  层等压面上环境位势高度;  $\Delta\mathcal{Q}(k)$  表征第  $k$  层等压面上热带气旋强度, 用

<sup>\*</sup> 国家气象中心 ZX95-02-03-01 课题资助

收稿日期: 1997-01-13; 改回日期: 1997-08-20

第一作者简介: 周黎明, 男, 1968 年 9 月生, 硕士, 工程师

$\Delta\mathcal{Q}(k) = \mathcal{Q}(k) - \mathcal{Q}(k)$  表示;  $\mathcal{Q}(k)$  为第  $k$  层等压面上热带气旋中心的位势高度;  $r(x, y)$  是格点  $(i, j)$  与热带气旋中心位置  $(x_0, y_0)$  间的距离 (单位: 格距);  $R_0$  为热带气旋的平均半径, 试验中取值 960 km;  $R_m$  为最大风速半径, 试验中取值 120 km;  $\Delta\mathcal{Q}(k) = \Delta\mathcal{Q}(P(k) - P_T) / (1000.0 - P_T)$ , 式中  $P_T$  为低层气旋性环流向高层反气旋性环流转换的过渡层气压 (取为 300 hPa);  $\Delta\mathcal{Q}$  为 1000 hPa 面上平均位势高度与热带气旋中心高度的差值, 取 30 dagpm。热带气旋范围内的风场由梯度风公式计算, 热带气旋范围的凝结加热采用 CISK 型加热参数化方案<sup>[1]</sup>。

为了便于比较和分析, 选取西进的西太平洋副热带高压作大尺度背景场, 将热带气旋环流嵌入环境场中并积分 36 h, 并把热带气旋和环境场适应的预报场作为初始场 (图 1)。

## 2 环境场调整试验方案

### 2.1 方案设计

为了能在同一初始场下, 经过积分后既能出现不同类型环境场的较大调整, 又能满足模式对大气结构的合理性要求。在文献 [3] 的启发下, 本文提出在位温的预报差分方程中设一控制系数  $D(x, y, \sigma)$ , 即

$$\theta(x, y, \sigma, t + \Delta t) = \theta(x, y, \sigma, t - \Delta t) + 2\Delta t \times D(x, y, \sigma) \times \frac{\partial\theta(x, y, \sigma, t)}{\partial t} \quad \text{且 } 0 \leq D(x, y, \sigma) \leq 1 \quad (2)$$

式中  $\Delta t$  为时间步长, 这相当于热力学方程中有一强迫源, 为了不影响热带气旋结构 (即控制大尺度环境场的位温变化大小), 又不影响热带气旋环流的位温实际演变, 变  $D(x, y, \sigma)$  的取值方式为

$$D(x, y, \sigma, t) = \begin{cases} 1.0 & r(x, y) \leq 6.0 \\ R(x, y) [1.0 - d(\sigma)] + d(\sigma) & 6.0 < r(x, y) < 12.0 \\ d(\sigma) & r(x, y) \geq 12.0 \end{cases} \quad \text{且 } 0 \leq d(\sigma) \leq 1 \quad (3)$$

式中,  $R(x, y) = \cos[(\frac{r(x, y)}{6} - 1) \times \frac{\pi}{2}]$ ,  $r(x, y)$  同 (1) 式,  $d(\sigma)$  是对环境场进行调整的参数, 不同的  $\sigma$  层取不同的值, 相应的环境场的变化亦不同。当  $D(x, y, \sigma)$  取 1 时, 表示位温的实际演变, 当  $D(x, y, \sigma)$  取 0 ~ 1 值时, 表示不同程度地控制位温的变化, 从而控制环境场的不同变化, 当  $D(x, y, \sigma)$  取 0 时, 表示环境场的位温不变。

为考察大尺度环境场处于定常情况下热带气旋的移动情况, 把积分过程中每一步作如下处理即可得到定常的环境场。

$$F(x, y, \sigma, t) = \begin{cases} F(x, y, \sigma, t) & r(x, y) \leq 6.0 \\ R \times F(x, y, \sigma, t) + (1.0 - R) F_c(x, y, \sigma, t_0) & 6.0 < r(x, y) < 12.0 \\ F_c(x, y, \sigma, t_0) & r(x, y) \geq 12.0 \end{cases} \quad (4)$$

$F(x, y, \sigma, t)$  表示  $t$  时刻  $u, v, q, \pi$  中任一物理量;  $F_c(x, y, \sigma, t_0)$  是初始时刻没有嵌入热带气旋环流的初始物理量场。

### 2.2 试验分组

为了便于对比, 设计了 3 组试验, 均积分 36 h。

A 组: 在模式积分过程中, 用 (4) 式控制热带气旋的环境场, 使其处于定常状态。简称定常试验。

B 组: 在模式积分过程中, 令  $D(x, y, \sigma) = 1$ , 即模式大气的自然演变过程。可作为对比分

析的考察标准。简称参考试验。

C 组: 在模式积分过程中, 引入系数  $D(x, y, \sigma)$ , 用(2)式控制热带气旋的环境场, 使系数  $d(\sigma)$  在不同的  $\sigma$  层取不同的值, 即控制  $d(\sigma)$  的垂直分布, 以控制环境场的调整, 使其具有不同的垂直结构。简称调整试验。

采用  $d(\sigma)$  的不同取值(见表 1), 将  $\sigma = 0.25, \sigma = 0.55, \sigma = 0.95$  分别作为对流层高、中、低的代表层。如要使某代表层的环境场出现与自然演变过程差别较大的变化, 则令该  $\sigma$  层上的系数  $d(\sigma)$  取 0, 非代表层上  $\sigma$  系数由两相邻代表层  $\sigma$  的值线性内插。因此 3 个代表层共有 8 种排序, 我们选取  $d(\sigma)$  值的 5 种环境场调整明显的排序。方案试验编号分别为 C1 ~ C5。

表 1 大尺度环境场调整试验各  $\sigma$  层系数  $d(\sigma)$  的取值

Table 1 Values of various-level coefficients  $d(\sigma)$  of the large-scale environment adjustment experiment

$\sigma$ 取值	试验编号				
	C1	C2	C3	C4	C5
0.05	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
0.15	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8
0.25	0.0	0.0	0.3	0.6	0.6
0.35	0.0	0.0	0.6	0.4	0.2
0.45	0.0	0.0	1.0	0.2	0.0
0.55	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0
0.65	0.0	0.4	0.6	0.0	0.2
0.75	0.0	0.6	0.3	0.0	0.6
0.85	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8
0.95	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0

### 3 模拟结果分析

#### 3.1 环流形势的演变

与模式大气的自然演变过程相对应的 1990 年 8 月 20 日 20 时 ~ 8 月 21 日 20 时的环流形势演变过程如图 1 所示。由图可见 24 h 内 500 hPa 副热带高压向西北伸 8 个经度左右, 在 200 hPa 高度场上反气旋中心向西南移动多达 15 个经度, 而热带气旋沿副高南缘朝西北方向移动。

#### 3.2 定常试验下热带气旋的移动

当环境场处于定常情况时, 可以认为环境场没有发生任何调整, 此时热带气旋沿环境场引导气流移动(图略), 热带气旋路径见图 2 中 A, 试验表明(4)式的调整方案能使环境场处于定常状态, 从而考察热带气旋在环境场保持不变时的运动情况。

#### 3.3 模式大气的自然演变

当模式大气处于自然演变过程(图 3 中的参考试验)时: 200 hPa 上反气旋中心 36 h 西移 20 多个格距, 500 hPa 高度场和海平面气压场上副热带高压也西移了大约 8 个格距, 处于模式大气副高南缘的热带气旋向西北移动。模式大气成功地反映出了图 1 中实际天气系统演变的主要特征(对流层高层和中层副高的明显西伸), 但二者之间亦存在一定的差别, 这种差别与模

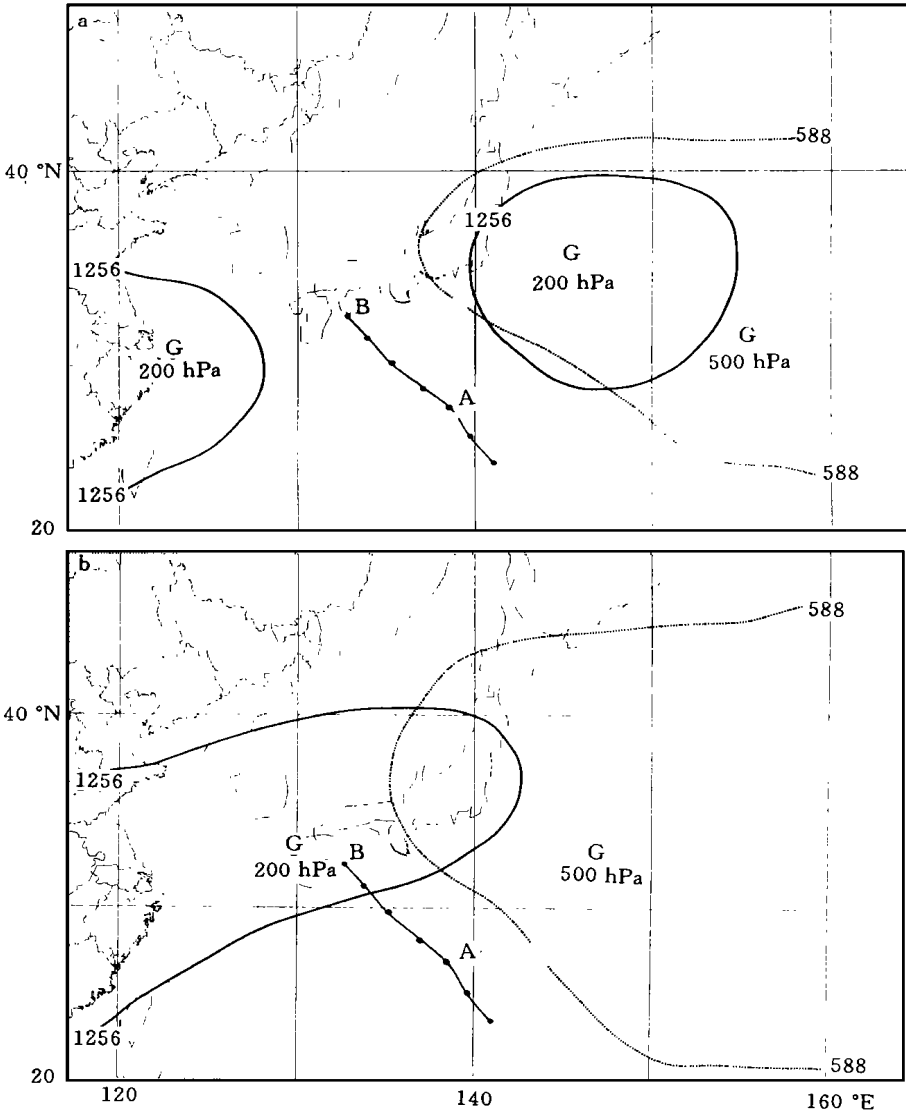


图1 1990年8月20日20时~21日20时的环流形势及热带气旋移向

a. 20日20时; b. 21日20时

实线为200 hPa 1256等高线,虚线为500 hPa 588等高线,单位: dagpm

·为间隔6 h的热带气旋中心位置, A、B分别为20日和21日20时气旋中心位置

Fig. 1 Circulation patterns and tropical cyclone tracks with the cyclone's centre at 2000 BST, 20 (a) and 21 (b) August, 1990 labelled A and B, respectively, and the 6 h seats by points

The contour of 1256 dagpm (588) at 200 (500) hPa is given by solid (dashed) line. Units: dagpm

式的性能和初始场的计算方法有关。

### 3.4 调整试验下的演变

当模式处于(2)式调整方案情况下,由图3可见:200 hPa环境场上反气旋中心西移在方案C1中远小于参考试验,而500 hPa环境场上副高西伸程度方案C1远大于参考试验,在海平面气压场上的副高方案C1却出现了与参考试验不同的变化,即方案C1副高的气压场出现东退或分裂。方案C5与参考试验相比,两者趋势相近,只是西移程度有所不同。

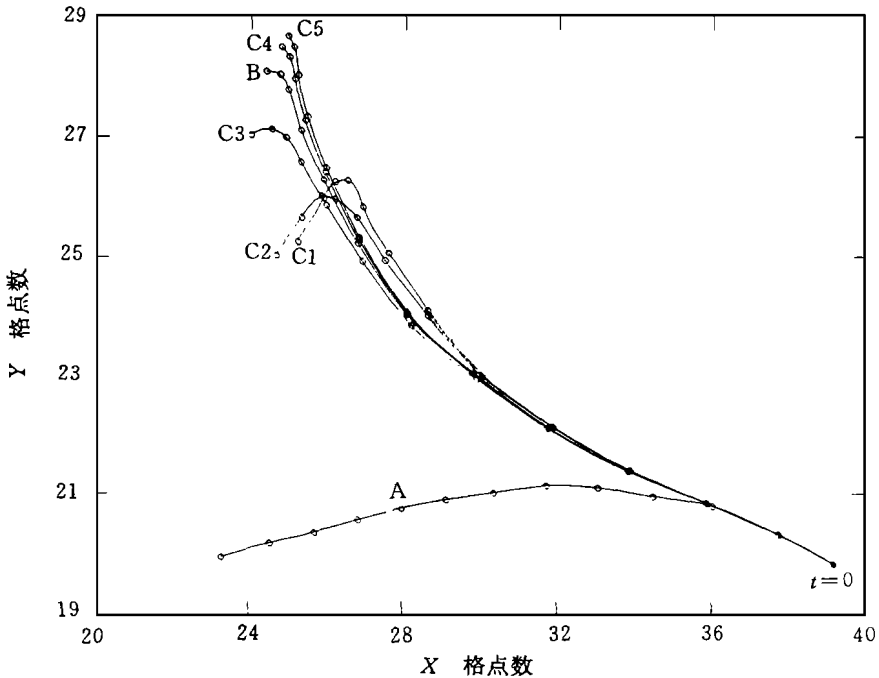


图2 模式积分 36 h 内 3 组试验的热带气旋的路径

· 为每隔 3 h 的热带气旋中心位置, 网格距为 80 km

Fig. 2 Tropical cyclone tracks on 36 h integration from three experiments, with the 3 h centers denoted by points

### 3.5 热带气旋在环境场不同的调整情况下的运动

上述 5 个试验方案的环境场出现的不同程度调整, 亦可从它们的热带气旋运动路径的差别中反映出来(图 2)。环境场定常状态下的热带气旋路径 A 与环境场处于调整状态下的热带气旋运动路径 C1 ~ C5 的极大差别就说明了环境场的不同调整对热带气旋移动有很大的影响。计算 5 个方案的热带气旋(C1 ~ C5)在前 15 h 内中心的移向、移速、位置基本相同, 均向西北移动, 移速渐增。此后 15 h ~ 24 h 内, 5 个热带气旋仍然向西北方向移动, 其中心移速增至最大, 而路径却出现不同程度的转折, 方案 C3 和方案 C2 结果相近, 其他 3 个方案的结果相近, 前一类热带气旋中心位置比后一类稍偏东南。前一类热带气旋路径从第 24 h 开始出现转折, 第 30 h 转向西南, 6 h 内移向转角大于  $90^\circ$ ; 对于后 3 个热带气旋的试验, 其中心均是从第 27 h 开始出现不同程度的转折, 但转折角度均小于  $45^\circ$ 。这 5 个试验方案的热带气旋中心移向的转角由大到小的顺序是方案 C1、方案 C2、方案 C3、方案 C4、方案 C5, 转角的大小正反映了 5 种方案环境场的演变相对于参考试验的差异程度。

对照表 1  $d(\sigma)$  在调整试验方案中垂直方向的不同取值, 再联系到它们所对应的环境场的不同变化, 可以得到该调整方案的一般性特征: 控制位温变化量的大小就可相应地控制环境场变化的大小, 对位温变化量控制越大则环境场调整越大, 甚至产生与模式环境场相反的变化。例如拿调整系数全为 0 的方案 C1 和参考试验相比不难发现, 在对流层高层, 反气旋中心西伸的距离前者明显比后者短; 在对流层中层, 方案 C1 更有利于副高的西伸; 而在对流层底层, 方案 C1 中的副高东退、分裂, 而后者副高仍西伸。当然, 如果在每组试验结果之间进行比较, 可发现不同层次调整系数取值的差别也会使各层次环境场相互影响。因此, 各试验方案环境场的

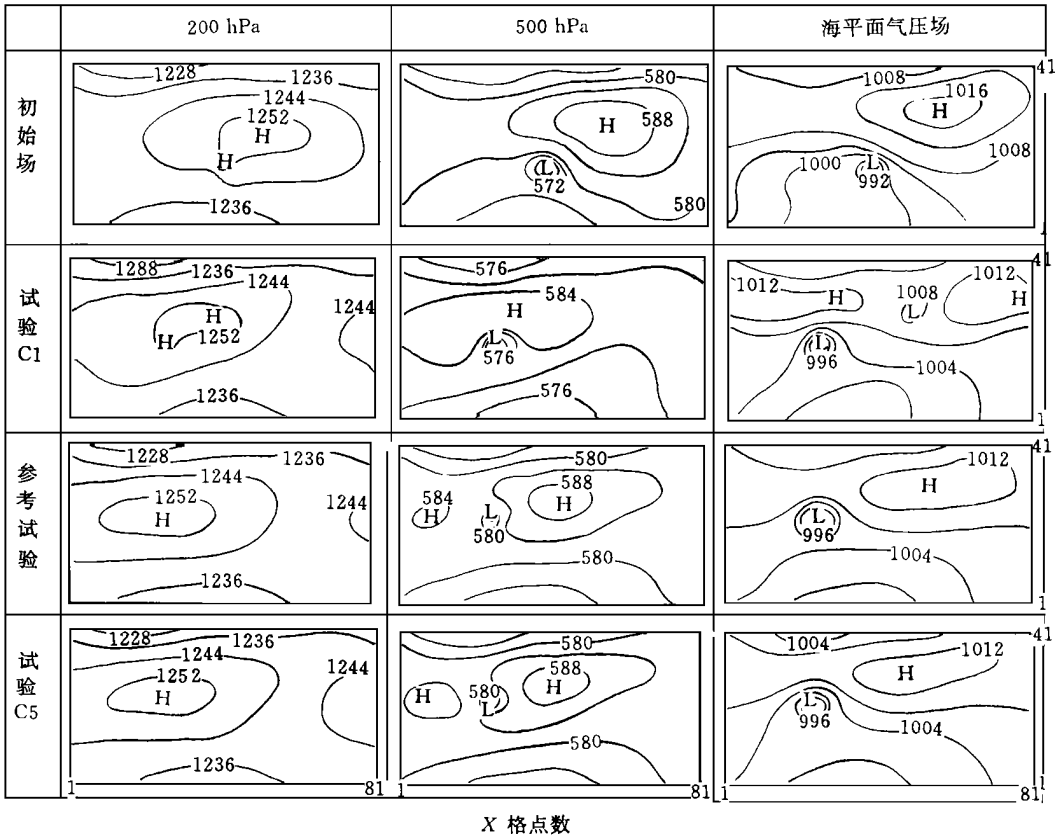


图 3 试验方案 C1、C5 和参考试验的 36 h 形势场及模式初始场

单位: 高度: dagpm, 气压: hpa; 网格距为 80 km

Fig. 3 36 h patterns from Exps. C1, C5 and control run with t model initial field given, in units of dagpm and hPa and grid spacing of 80 km

不同变化也是高、中、低层系统相互作用的结果。

热带气旋移动路径与对流层高层环境场反气旋中心位置(图 4)有一定的对应关系。如果环境场高层反气旋中心和热带气旋中心相距较远时,两者关系不大(如试验方案 C1 和方案 C2);但当环境场高层反气旋中心位于热带气旋上空或附近时,对比分析参考试验和方案 C5 在 24 h~36 h 热带气旋路径与环境场对流层高层反气旋中心的位置关系,不难发现环境场的对流层高层反气旋似乎对热带气旋有吸引作用。当环境场高层反气旋少动时,热带气旋亦少动,反之,两者移动方向较一致。观测研究亦发现,当热带气旋强度较强时,位于热带气旋上空的对流层高层大尺度系统对热带气旋的移动有很大的影响,特别是辐散气流较强时,有利于热带气旋的加强和引导其运动<sup>[6]</sup>,本文的结果印证了该结论。因此,对流层高层反气旋中心的移动对热带气旋路径移动有一定的引导作用。

还有一个值得注意的现象:调整试验中的两类热带气旋移动路径均是在 24 h 左右出现不同程度的转折,而相应的环境场的环流变化亦呈现出两类不同的特征。拿最明显的 200 hPa 反气旋中心位置的变化为例(图 4),在试验方案 C3、参考试验、方案 C4、方案 C5 的环境场中,21 h~24 h 内反气旋中心位置开始由原来的向西北方向移动突然改为向东南方向移动,而在方

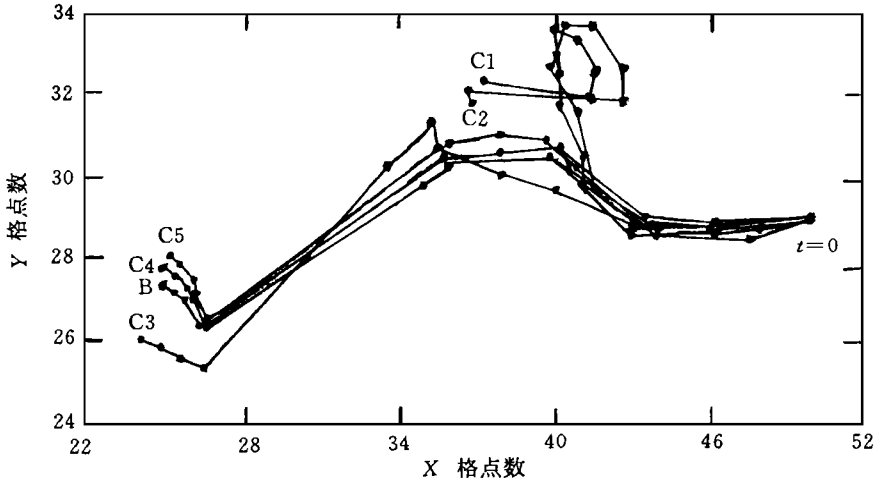


图4 模式积分36 h内B和C两组试验200 hPa反气旋中心每3 h位置  
网格距为80 km

Fig. 4 3 h centers of a 200 hPa anticyclone based on 36 h integration  
from Exps. B and C, with grid length of 80 km

案C1和C2中,21 h~26 h内反气旋中心位置由原来向西北移动突然改变为打转然后向西移动。环境场的这种突然变化,不管是模式大气的实际演变过程,还是人为地控制出现的模拟结果,均是在模式积分24 h左右出现的,相应的热带气旋移动路径亦出现突然的较大转折。在0 h~21 h内,所有试验的环境场变化均是连续的和渐变的,而21 h~26 h内,环境场却出现不同程度的较大调整。因此可以认为环境场调整过程是由两部分组成的:一个是环境场的渐变过程,是连续的和不明量的量变过程,其时间尺度大约是24 h左右;另一个是环境场的突然变化,是不连续的和明显的渐变积累到一定程度所致。当环境场发生突变,首先在对流层高层出现征兆,相应的热带气旋路径出现突变,说明环境场的突变是导致热带气旋路径异常的根本原因。

## 4 结 论

- (1) 本文的试验方案可以成功地模拟出环境场的定常状态和环境场的较大调整。
- (2) 大尺度环境场的调整有一个从量变到质变的过程,即经过渐变(时间尺度大约为24 h)和突变两个过程。
- (3) 环境场的突变是导致热带气旋等天气系统发生突变的根本原因,而这种突变始于对流层高层。
- (4) 在热带气旋移动过程中,若对流层高层(主要在200 hPa和300 hPa附近)的反气旋环流中心位于热带气旋的上空或附近时,热带气旋有向该反气旋中心移动的倾向。

## 参 考 文 献

- 1 叶笃正, 李麦村. 大气各类运动的多时间尺度特征. 见: 廖洞贤主编. 第二次全国数值天气预报会议论文集. 北京: 科学出版社, 1980. 181 ~ 192
- 2 Wang Yuqing, Grey, Holland J. Tropical cyclone motion and evolution in a vertical shear flow. JAS, 1996, 53(22): 3313 ~ 3326
- 3 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, 10(7): 769 ~ 775
- 4 George J E, Gray W M. Tropical cyclone recurvature and nonrecurvature as related to surrounding wind-height field. J A M, 1980, 16(1): 34 ~ 42

## A FEASIBLE SCHEME FOR ADJUSTING MODEL ATMOSPHERIC ENVIRONMENTAL FIELD

Zhou liming

(National Meteorological Center of China, Beijing 100081)

He Jinhai

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Zhu Yongti

(Shanghai Institute of Typhoons, Shanghai 200030)

**Abstract** To investigate in numerical study the effect of large-scale atmospheric environment on a tropic cyclone's track, a primitive-equation 10 level model was used, with an experimental scheme proposed for large-scale circulation experiencing remarkable adjustment. Results show that such adjustment goes through quantitative to qualitative change, suggesting that it experiences gradual (~24 h) to abrupt change, and a tropical cyclone, when right in the process of such adjustment, shows its precursor of abrupt change in its path that is given more clearly in the upper than in the mid-lower troposphere.

**Keywords** adjustment, model environmental field, feasible scheme, tropical cyclone track