

斜压大气中环流非对称结构与台风 移速关系的数值研究^{*}

余 晖

(上海台风研究所,上海,200030)

摘 要

采用 4 层准地转斜压模式,在无环境气流的情况下,进行了两次数值试验,研究了台风环流不同方位、不同半径处的非对称程度与其中心移速的关系,以及不同层次台风环流的非对称结构与台风移速的相关性。结果表明:(1)距台风环流中心 100~300 km 的东-西向和东北-西南向非对称程度与其东西向移速有稳定的强负相关,200~500 km 的东南-西北向非对称程度与其南北向移速有稳定的强正相关。(2)模式最下层环流的非对称结构与台风移速的关系最密切。在该层,距中心 100~400 km 的东-西向和东北-西南向非对称程度与台风沿东西向移速密切相关,100 km 以外的东南-西北向非对称程度与台风沿南北向移速密切相关。

关键词:斜压,台风,移动,非对称结构,数值试验。

1 引 言

弱环境流场中,台风环流的非对称结构对其运动有明显的影响,这一观点已受到广泛关注。罗哲贤^[1]和马镜娴等^[2]的数值研究结果表明,正压大气模式中,在台风移向突变和移速突变以前,其非对称结构的演变均有明显的前兆可寻。董文乾等^[3]和马镜娴等^[4]采用文献[1,2]引入的非对称参数,在实际大气中,得到台风环流非对称结构与台风移动相关的观测证据。但是,在这些研究中,对台风环流非对称结构的分析,均局限于计算某一物理量场(流函数场、高度场或地面气压场)上某一等值线的非对称程度。李天明等^[5]将台风环流分为内、外两区,对两区的非对称性分别进行研究,得到不同特征的台风移动路径。Fiorino 等^[6]指出,与 β 效应相联系的涡旋移动十分敏感地依赖于距中心 300~1000 km 范围内的气流强度。可见,台风环流不同区域的非对称性与台风移动的关系是不同的。

关于台风非对称结构与移动问题的理论研究,一般在 500 hPa 或其它高空层次上进行。实际大气中,500 hPa 层次上的资料密度较低,难以直接应用这些理论结果。为了寻求解决这一问题的可能途径,文献[3,4]分析了实际大气中,地面层次台风环流的非对称结构与台风移动之间的联系,发现两者之间也存在相关。

下面将利用一个 4 层准地转斜压模式,研究台风环流不同方位、不同半径处的非对称程度与其中心移速的关系,以及不同层次台风环流的非对称结构与台风移速的相关性,寻

^{*} 初稿时间:1997 年 12 月 22 日;修改稿时间:1998 年 9 月 1 日。

资助课题:上海台风研究所基金“环流非对称结构与台风移动关系的数值研究”。

找与台风移动关系最密切的区域与层次。

2 模式概述和试验设计

模式初始方程是准地转近似的涡度方程和热力学方程:

$$\frac{\partial \nabla^2 \Psi}{\partial t} = -J(\Psi, \nabla^2 \Psi) - \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} + f \frac{\partial \omega}{\partial p} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial p} \right) = -J(\Psi, \frac{\partial \Psi}{\partial p}) - \omega \frac{\sigma}{f} \quad (2)$$

式中, Ψ 为地转流函数, $\beta = df/dy$, f 为科氏参数, ω 为垂直速度, σ 为静力稳定度参数。 β 平面中线处 $\phi = 20^\circ\text{N}$ 。

由方程(1)、(2)可得准地转 ω 方程:

$$(\nabla^2 + \frac{f^2}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2}) \omega = \frac{f}{\sigma} \left[\frac{\partial}{\partial p} J(\Psi, \nabla^2 \Psi) + \frac{\partial}{\partial p} (\beta \frac{\partial \Psi}{\partial x}) - \nabla^2 J(\Psi, \frac{\partial \Psi}{\partial p}) \right] \quad (3)$$

将 Ψ 分为平均量和扰动量两个部分, 并令平均气流为零, 得到与方程(1)、(3)形式相同的关于扰动流函数的两个方程。

计算区域在水平方向有 101×101 个格点, 格距为 50 km。 本文将主要在 $11 \leq I \leq 91$, $11 \leq J \leq 91$ (I, J 分别为 x, y 方向的格点序号) 区域内对模式输出结果进行分析, 该区域也是试验台风活动的最大可能区域。

该模式在垂直方向等分为 4 层(图 1)。 ω 方程应用于层与层之间的分界面上, 即 250, 500 和 750 hPa。 涡度方程应用于各层中央, 即 125, 375, 625 和 875 hPa。 上、下边界处, $\omega = 0$, 侧边界上, $\omega = 0$, $\Psi = 0$ 。 积分方案采用松弛迭代法, 时间步长是 10 min。

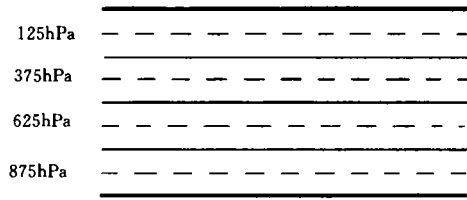


图 1 模式垂直结构

初始时刻的涡度场为

$$\xi(r, \theta, p) = \frac{2v_m}{r_m} \left(1 - \frac{0.5r}{sr_m} \right) \exp \left(1 - \frac{r}{sr_m} \right) \sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{p - p_0}{p_s - p_0} \right) \quad (4)$$

式中, $r = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]^{\frac{1}{2}}$, (x_0, y_0) 是台风中心坐标。 v_m 为最大风速, r_m 为最大风速半径, p_s 为模式最低层气压, p_0 为初始台风环流伸展高度。 这一理想台风与文献[7]的定义方法类似, 所不同的是这里引入了一个决定初始台风非对称结构的参数 $s^{[5]}$, $s = 1 + b \cdot \cos(\theta - \theta_0)$, θ_0 为非对称方位角, b 为非对称程度。

令初始时刻台风中心坐标为 (71, 31), $r_m = 100 \text{ km}$, $v_m = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $p_0 = 50 \text{ hPa}$, 共进行两次试验。 试验 1 的初始台风是轴对称的, 即取 b 为 0。 试验 2 的初始台风是非轴对称的, 令 $\theta_0 = 225^\circ$, $b = 0.1$ 。 两次试验均积分 96 h。

3 模式性能检验

通过分析该模式对初始轴对称理想台风的移动和结构的模拟情况(试验 1), 检验其

性能。

3.1 台风移动的模拟

定义各模式层的台风环流中心为涡度最高值点,分别称为中心1,2,3,4(由上至下)。以中心4作为台风中心。试验1模式台风的平均移速是 $1.75\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,平均移向为 330° ,与以往的正、斜压模式结果基本一致^[7~9]。

3.2 台风结构的模拟

图2是试验1各层台风环流中心的移动路径图。该图表明,台风中心在垂直方向上的倾斜并不均匀,中心2,3,4始终偏离较小,随积分时间的增加,中心1逐渐远离下面各中心。Wang和Holland^[7]用原始方程模式也得到与此相似的结果。Hoskins等^[10]认为,扰动之间相互作用的强度取决于扰动影响的厚度,而该厚度与扰动强度成正比。由式(4)定义的初始涡度场说明,模式台风强度随高度迅速减小,因此最上层环流之间的相互作用

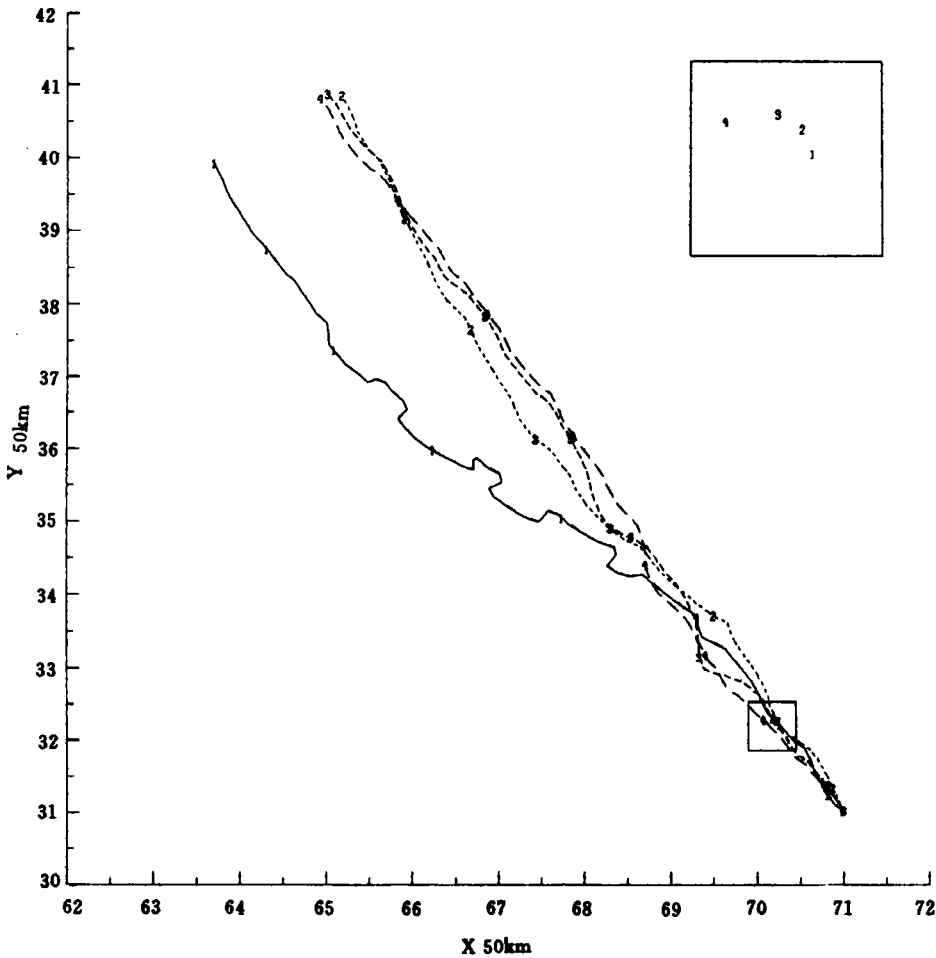


图2 试验1各层台风环流中心移动路径图

(路径曲线上的数字表示模式层,1代表模式最上层,4代表模式最下层,每12h标示一次。右上角为放大显示的第24模式小时各中心相对位置)

很弱,这应是造成中心 1 逐渐偏离下面各中心的原因之一。此外,在模式台风向西北方向移动的同时,第 1 模式层气旋性环流的东南偏东侧发展起一个反气旋性环流,至第 96 个模式小时,该反气旋性环流的强度远远强于同一层上气旋性环流的强度(图略)。这一较强上空反气旋性环流的存在与实际台风的反气旋性流出层相似,它的发展应是造成该层气旋性环流中心逐渐偏离下面各层中心的另一原因。

Jones^[11]及 Wang 和 Holland^[7]等对斜压大气中涡旋的垂直耦合机制进行了理论分析。他们认为,当某种原因造成各层涡旋中心分离之后,在倾斜涡旋中心轴的下方将出现上升气流,上方将出现下沉气流,正是这种二级环流的存在维持了涡旋的平衡。在试验 1 的积分初期,台风在 β 效应的作用下移动。因强度自下向上减弱,下层移动快,上层移动慢,至第 24 个模式小时,各中心由下至上向东南偏东方向倾斜(见图 2)。该时次垂直速度场上(图略),台风中心的东南偏东侧(倾斜台风中心轴的下方),出现上升气流,西北偏西侧(倾斜台风中心轴的上方),出现下沉气流。与理论分析结果非常一致。

上述结果表明,该模式对斜压大气中台风的移动与结构有较好的模拟能力。

4 环流非对称结构与台风移速

为了描述台风环流非对称结构随时间的演变,计算各试验每一时步的非对称参数 $K_{e-w}(k)$ 、 $K_{n-s}(k)$ 、 $K_{ne-sw}(k)$ 与 $K_{se-nw}(k)$ ($k = 1, 2, 3, 4$)。非对称参数按如下方法给定(图 3):在第 k 模式层的扰动流函数场上,过台风环流中心点 O 作一条沿东—西方向的直线, E 和 W 分别为该直线上东、西两侧距 O 为 d km 的点,读取 O 、 E 、 W 三点的扰动流函数值 Ψ_o 、 Ψ_e 和 Ψ_w 。定义 $K_{e-w}(k) = (\Psi_e - \Psi_o) / (\Psi_w - \Psi_o)$,若 $K_{e-w}(k) > (<) 1$,则流场为东密西疏(西密东疏)流型。 $K_{n-s}(k)$ 、 $K_{ne-sw}(k)$ 与 $K_{se-nw}(k)$ 的定义与此类似,分别描述环流南—北向、东北—西南向和东南—西北向的非对称程度。 $d = 50, 100, 150, 200, 250, \dots, 1000$ km, 可得到距环流中心不同距离处的非对称参数。

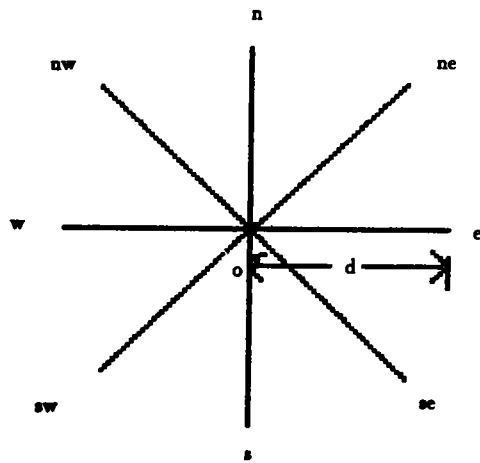


图 3 非对称参数的定义示意图

定义 $R_{e-w,x}(k_1, k_2)$ ($k_1 = 1, 2, 3, 4; k_2 = 1, 2, 3, 4$) 为 $K_{e-w}(k_1)$ 与 $V_x(k_2)$ 之间的相关系数, $V_x(k_2)$ 是中心 k_2 沿东西方向的移速分量。令 $R_{e-w,y}(k_1, k_2)$ 为 $K_{e-w}(k_1)$ 与 $V_y(k_2)$ 之间的相关系数, $V_y(k_2)$ 是中心 k_2 沿南北方向的移速分量。类似地有 $R_{n-s,x}(k_1, k_2)$ 、 $R_{n-s,y}(k_1, k_2)$ 、 $R_{ne-sw,x}(k_1, k_2)$ 、 $R_{ne-sw,y}(k_1, k_2)$ 、 $R_{se-nw,x}(k_1, k_2)$ 与 $R_{se-nw,y}(k_1, k_2)$ 。根据各试验 96 个模式小时每一时步的非对称参数和台风环流中心移速(样本数为 576),可求得上述各相关系数。

以下讨论中, V_x, V_y 泛指台风环流中心移速, $K_{e-w}, K_{n-s}, K_{ne-sw}, K_{se-nw}$ 泛指环流相应

方位的非对称程度。

4.1 各模式层台风环流的中心移速与其自身非对称结构的相关性

因第1模式层的气旋性环流非常弱,而且其中心明显偏离台风中心,下面主要分析第2,3,4模式层的结果。

图4,5和6分别为试验1第2,3,4模式层各方位非对称参数与台风环流中心移速之间的相关系数随d变化的曲线图。

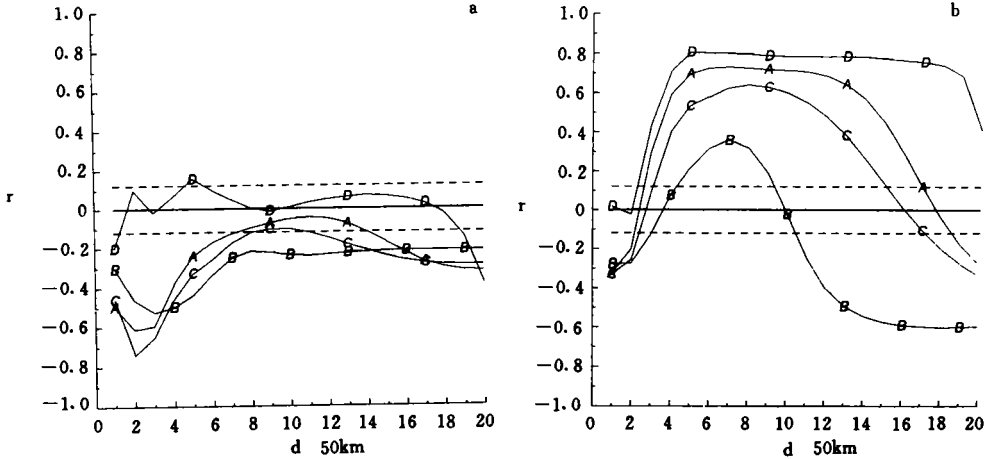


图4 试验1第2模式层各非对称参数与台风环流中心移速之间的相关系数随距离(d)变化的曲线图

- (a. A: $R_{e-w,x}(2,2)$, B: $R_{n-s,x}(2,2)$, C: $R_{se-sw,x}(2,2)$, D: $R_{se-nw,x}(2,2)$;
- b. A: $R_{e-w,y}(2,2)$, B: $R_{n-s,y}(2,2)$, C: $R_{se-sw,y}(2,2)$, D: $R_{se-nw,y}(2,2)$ 。

虚线示出达0.01信度的临界相关系数)

由图可见:

(1)各层台风环流的中心移速与其南—北向非对称程度之间的相关性有如下特点(各图中曲线B):

① K_{n-s} 与 V_x 主要表现为负相关,随高度降低,两者之间的相关减弱,相关系数极值变化不大,但极值出现的位置逐渐远离环流中心。其中, $K_{n-s}(2)$ 与 $V_x(2)$ 之间的负相关在各距离处均超过0.01信度,并在距中心150 km处出现极值-0.52。 $R_{n-s,x}(3,3)$ 仅在700 km之内超过0.01信度,极值-0.6出现在200 km处。而 $R_{n-s,x}(4,4)$ 在50 km处为正值,且超过0.01信度,显著负相关区在200~700 km,极值为-0.5,出现于500 km处。

②250~450 km的 $K_{n-s}(2)$ 与 $V_y(2)$ 显著正相关,相关系数极值为0.34。随高度降低, K_{n-s} 与 V_y 之间的正相关增强。在第3和第4模式层,显著正相关区分别为300~600 km和250~700 km,极值分别达0.48和0.73。150 km以内和550 km以外的 $K_{n-s}(2)$ 与 $V_y(2)$ 显著负相关,相关系数极值为-0.6,出现在850~1000 km。近中心附近的负相关在第3模式层最强,显著相关区扩大到250 km,极值达-0.5,至第4模式层则又略有减弱。外围环流的负相关随高度降低则迅速减弱,至第4模式层,已无显著负相关区。

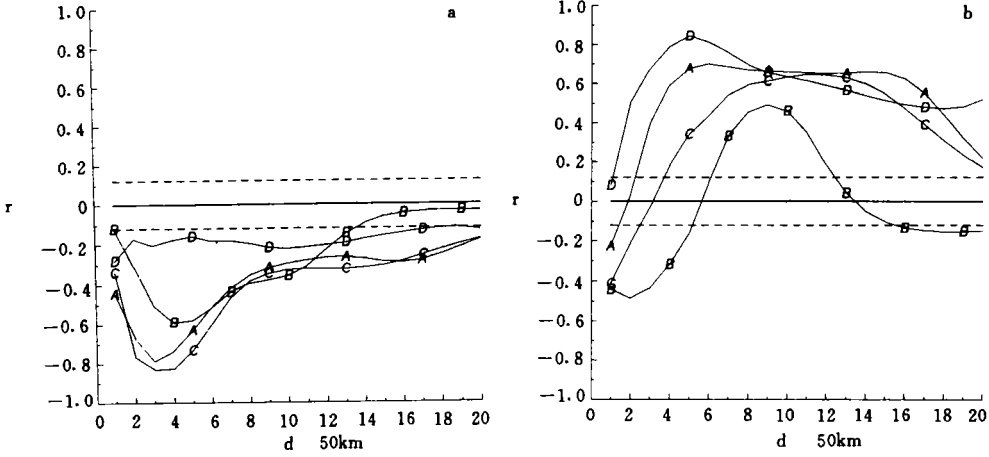


图 5 同图 4, 但为第 3 模式层的结果

(2) 随高度降低, 环流东南-西北向非对称程度与中心移速之间的相关性逐渐增强 (各图中曲线 D):

① $K_{se-nw}(2)$ 仅在 $d = 50 \text{ km}$ 和 1000 km 处与 $V_x(2)$ 有超过 0.01 信度的负相关。 $K_{se-nw}(3)$ 与 $V_x(3)$ 在各距离处均显著负相关, 相关系数在 -0.2 左右变化。而 $K_{se-nw}(4)$ 与 $V_x(4)$ 的负相关仅在 $d = 50 \text{ km}$ 处未达 0.01 信度, 相关系数极值达 -0.6 , 出现于 350 km 处。

② 在 150 km 以外, $K_{se-nw}(2)$ 与 $V_y(2)$ 显著正相关, 最大相关系数达 0.81, 出现于 250 km 处。 $R_{se-nw,y}(3,3)$ 仅在 50 km 处未达 0.01 信度, 最大相关系数为 0.83, 出现在 200 km 处。 $K_{se-nw}(4)$ 在任何距离处均与 $V_y(4)$ 显著正相关, 最大相关系数达 0.87, 出现在 250 km

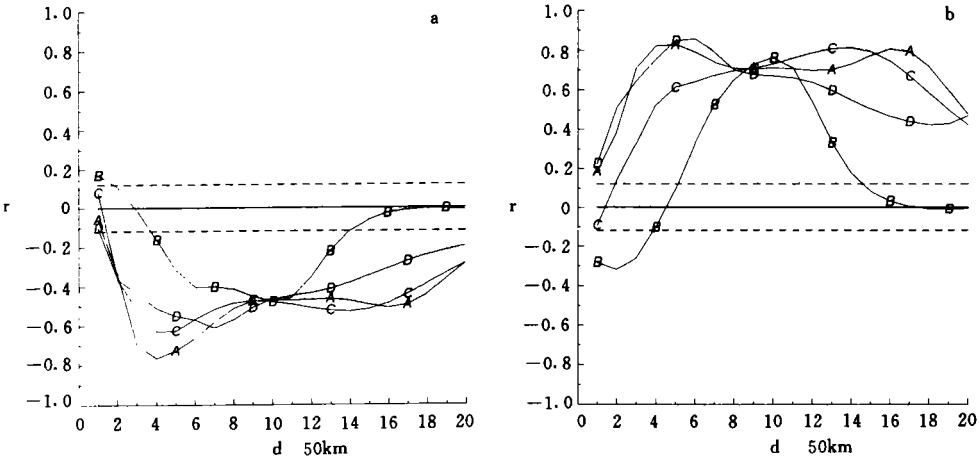


图 6 同图 4, 但为第 4 模式层的结果

处。在外围环流, $R_{se-nw,y}(3,3)$ 和 $R_{se-nw,y}(4,4)$ 虽较 $R_{se-nw,y}(2,2)$ 略偏小, 但仍远远超过 0.01 信度。

(3) 各图中曲线 A 和 C 随距离 d 变化的规律非常相似, 可见环流东—西向和东北—西南向非对称程度与中心移速之间的相关性比较一致:

① $R_{e-w,x}(2,2)$ 和 $R_{ne-sw,x}(2,2)$ 在各距离处均为负值, 且都在 100 km 处出现极值, 极值分别达 -0.75 和 -0.62 , 远远超过 0.01 信度。随高度降低, 极值出现处逐渐外移, 在第 3 和第 4 模式层分别出现于 150 和 200 km 处, 极值均超过 -0.6 。在极值出现处以外, 这两个方位的非对称程度与 V_x 之间的负相关随高度降低而增强。

② 近中心附近和远离中心处的 $K_{e-w}(2)$ 、 K_{ne-sw} 与 $V_y(2)$ 负相关, 极值在 -0.3 左右。两个负相关区之间为正相关区, 极值分别达 0.73 和 0.65。随高度降低, 负相关区逐渐减小, 至第 4 模式层已无显著负相关区存在。而显著正相关区逐渐增大, 至第 4 模式层, 仅 100 km 以内的 $K_{ne-sw}(4)$ 与 $V_y(4)$ 无显著正相关。

由此可见, 不同层次台风环流的中心移速与其自身非对称结构的相关性是不同的。但是, 各方位非对称参数与 V_x 主要表现为负相关, 与 V_y 主要表现为正相关, 且在各层均存在与移速显著相关的非对称参数。

为了分析初始台风非对称结构的可能影响, 设计实施了试验 2。因初始结构非对称, 模式台风沿逆时针打转的异常路径移动(图略)。图 7 为该试验第 4 模式层各方位非对称参数与台风环流中心移速之间的相关系数随距离 d 变化的曲线图。

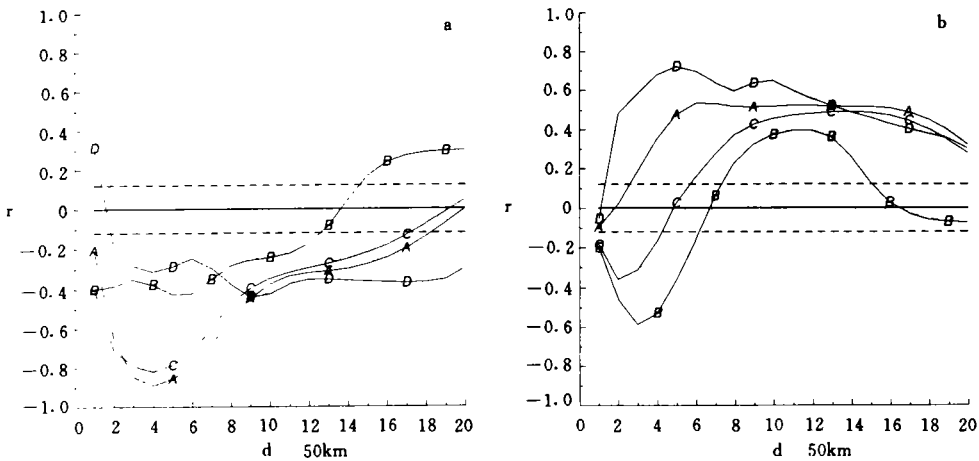


图 7 同图 4, 但为试验 2 第 4 模式层的结果

由图可见:

(1) 与试验 1(图 6) 相比较, 近中心附近的 $K_{n-s}(4)$ 与 $V_x(4)$ 的负相关增强, 在外围环流, 两者之间的正相关增强。在 300 km 以外, $K_{n-s}(4)$ 与 $V_y(4)$ 之间的正相关减弱, 在 300 km 以内, 两者之间的负相关增强, 相关系数极值达 -0.6 , 出现于 150 km 处。

(2) $K_{se-nw}(4)$ 与 $V_x(4)$ 之间的负相关在 500 km 以内明显弱于试验 1。 $R_{se-nw,y}(4,4)$ 在

各距离处均较试验 1 略有减小。

(3) 在 400 km 以内, $|R_{e-w,x}(4,4)|$ 和 $|R_{ne-sw,x}(4,4)|$ 略有增大, 极值分别达 0.91 和 0.82, 出现于 200 km 处。而在外围环流, 两者均小于试验 1 的结果。在各距离处, $R_{e-w,y}(4,4)$ 和 $R_{ne-sw,y}(4,4)$ 都较试验 1 有所减小, 尤其在 400 km 以内, 这两个方位非对称参数与 $V_y(4)$ 之间的正相关明显减弱。

除 K_{se-nw} 外, 台风初始结构的改变使其它 3 个方位非对称参数与 V_y 之间的正相关明显减弱, 与 V_x 之间的负相关在外围环流明显减弱, 在近中心附近有所增强。而 K_{se-nw} 与 V_x 之间的负相关在 500 km 以内明显减弱。第 2 和第 3 模式层的结果与此相类似。在第 4 模式层, K_{se-nw} 与 V_y 之间的相关性在两类台风中仅略有差别, 而在第 2 和第 3 模式层, 台风初始结构的改变使 K_{se-nw} 与 V_y 之间的正相关在 500 km 以外明显减弱, 在 500 km 以内略有增强。

在不同初始结构台风的层次, 各方位非对称参数与环流中心移速的相关性各不相同。但是, 以上分析表明, 有些非对称参数在两类台风的各层均与环流中心移速显著相关, 其中有距环流中心 100 ~ 300 km 的 K_{e-w} 和 K_{ne-sw} , 它们与 V_x 有稳定的强负相关, 还有 200 ~ 500 km 的 K_{se-nw} , 它们与 V_y 有稳定的强正相关。

4.2 不同层次环流非对称结构与台风移速的相关性

一般都以海平面气压最低值的点作为台风中心, 在此定义模式最低层台风环流的中心(即中心 4)为台风中心, 以中心 4 的移速作为台风移速。通过分析不同模式层上台风环流的非对称结构与中心 4 移速的相关性, 研究不同高度处环流的非对称结构与台风移速的关系。

从图 6 可以看出, 除了 $K_{n-s}(4)$, 大风半径之外各方位的非对称参数均与 $V_x(4)$ 显著负相关, 与 $V_y(4)$ 显著正相关, 而 $K_{n-s}(4)$ 也在 200 ~ 700 km 和 $V_x(4)$ 显著负相关, 在 250 ~ 700 km 与 $V_y(4)$ 显著正相关。台风初始结构的改变对各方位非对称参数与台风移速之间的相关性均有影响(图 7)。在实际大气中, 既有沿正常路径移动的台风, 也有沿异常路径移动的台风, 因此我们关心的是与这两类台风的移速都密切相关的区域, 而且这种相关性应几乎不受台风路径特征的影响。图 6 和图 7 表明, 100 ~ 400 km 的 $R_{e-w,x}(4,4)$ 和 $R_{ne-sw,x}(4,4)$ 、100 km 以外的 $R_{se-nw,y}(4,4)$ 在两个试验中差别不大, 而且均远远超过 0.01 信度。因此, 可以认为台风环流在这些区域的非对称程度与台风移速密切相关。

图 8 为试验 1 第 3 模式层各非对称参数与台风移速的相关系数随距离 d 变化的曲线图。在 500 km 以内, 该层台风环流各方位的非对称程度与台风移速的相关明显弱于第 4 模式层的相应结果。而在此距离之外, 两个模式层的结果相当。

对第 2 模式层的类似分析表明, 除南-北向非对称程度外, 其它 3 个方位的非对称性与台风移速的相关也在 500 km 以内弱于第 4 模式层的相应结果, 而在此距离之外, 与第 4 模式层的结果相当。该模式层南-北向非对称程度与台风移速的相关性在各距离处均与第 4 模式层的结果相当。

此外, 还对不同模式层平均的非对称参数与台风移速的相关性进行了分析, 发现不同组合方式会使某些距离处环流非对称程度与台风移速的相关性变差, 却没有明显增强这种相关性的组合方式。

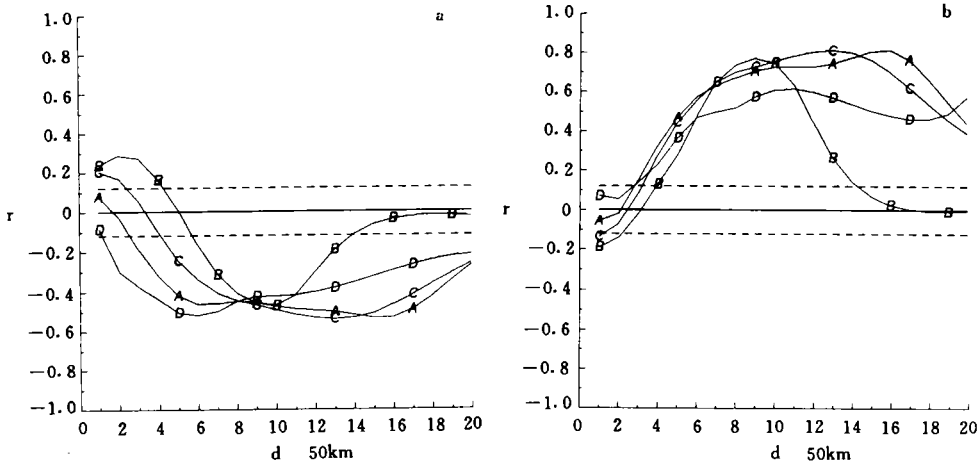


图8 试验1第3模式层各非对称参数与台风移速的相关系数
随距离 d 变化的曲线图,说明参见图4

台风初始结构的改变对结果虽然有影响,但在主要特征上,试验2与试验1是一致的,即:不同层次环流非对称程度与台风移速相关性的差异主要表现在距环流中心500 km以内,而在此范围内,第4模式层环流的非对称程度与台风移速的相关性最好。

5 结论与讨论

以往有关台风环流非对称结构理论的数值研究多在正压模式框架中进行,非对称参数的定义方式也多局限于计算某一物理量场(流函数场、高度场或地面气压场)上某一等值线的非对称程度。本文利用一个4层的准地转斜压模式,研究了台风环流不同方位、不同半径处的非对称程度与其中心移速之间的关系,以及不同层次台风环流的非对称结构与台风移速的相关性,寻找与台风移动关系最密切的区域与层次,所得结论如下:

(1)不同层次台风环流的中心移速与其自身非对称结构的相关性是不同的,这应该与各层气旋性环流强度的差异及层与层之间的相互作用有关。台风初始结构不同,各层环流非对称结构与其中心移速的相关性也不同。尽管如此,各方位非对称参数与环流东西向移速主要表现为负相关,与南北向移速主要表现为正相关,且在各层均存在与环流中心移速显著相关的非对称参数。其中,距环流中心100~300 km的东-西向和东北-西南向非对称程度与东西向移速有稳定的强负相关,200~500 km的东南-西北向非对称程度与南北向移速有稳定的强正相关。

(2)不同层次台风环流的非对称程度与台风移速相关性的差异主要体现在距环流中心500 km以内,而在此范围内,第4模式层环流的非对称结构与台风移速的关系最密切。第4模式层上,距中心100~400 km的东-西向和东北-西南向非对称程度与台风沿东西向移速密切相关,100 km以外的东南-西北向非对称程度与台风沿南北向移速密切相关。

马镜娴等^[4]对9012号台风的个例研究表明,在地面层次,沿正东—正西方位的非对

称性与台风沿东西向移速的相关,比 500hPa 上所有非对称参数与台风移动的相关还要显著。而地面层次西北—东南向非对称性与台风沿南北向的移动相关显著。与本文的数值试验结果一致。

与马镜娴等^[4]的个例研究结果的不同之处在于:她们指出地面层次东北—西南向非对称结构与台风移速的相关并不显著,求得的非对称参数与台风移速的相关性均不十分显著。可能的原因是,数值试验是在理想的情况下进行的,而实际台风存在于非常复杂的环境场中,并受到地形和地面摩擦等因素的影响。此外,对非对称参数的定义也有不同。实际台风的动力及热力学结构非常复杂,并且受各种尺度物理过程的影响,要对环流非对称结构与台风移动的关系有更透彻的认识,还应该在更接近实际的情况下进行研究。

致谢:衷心感谢导师罗哲贤教授的关心与指导。上海台风研究所的吴达铭先生在本文完成过程中提出了宝贵意见,谨以致谢。感谢《气象学报》编辑同志和审稿专家们的耐心帮助。

参考文献

- 1 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). 1991. 769~775
- 2 马镜娴, 罗哲贤. 台风移速突变的数值研究. 气象学报. 1994. 52(3): 342~349
- 3 董文乾, 马镜娴, 余晖. 9414号台风的非对称结构与路径的联系. 国家科技攻关 85—906项目——台风、暴雨灾害性天气监测、预报技术研究: 台风科学业务试验和天气动力学理论的研究(2). 北京: 气象出版社. 1996. 64~67
- 4 马镜娴, 彭瑞, 张隍英. 非对称结构理论的应用研究. 国家科技攻关 85—906项目——台风、暴雨灾害性天气监测、预报技术研究: 台风科学业务试验和天气动力学理论的研究(2). 北京: 气象出版社. 1996. 68~72
- 5 李天明, 朱永提. 热带气旋运动的分析和模拟 I: 非轴对称结构和路径突变. 中国科学(B). 1990. 104~112
- 6 Fiorino M, Elsberry R L. Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. J Atmos Sci. 1989. 46. 975—990
- 7 Wang Y, Holland G J. The beta drift of baroclinic vortices. Part I: Adiabatic vortices. J Atmos Sci. 1996. 53. 411—427
- 8 Chan J C —L, Williams R T. Analytical and numerical studies of the beta—effect in tropical cyclone motion. Part I: Zero mean flow. J Atmos Sci. 1987. 44. 1257—1265
- 9 Wang B, Li X. The beta drift of three—dimensional vortices: A numerical study. Mon Wea Rev. 1987. 120. 579—593
- 10 Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. Quart J Roy Meteor Soc. 1985. 111. 877—946
- 11 Jones S C. The evolution of vortices in vertical shear. Part I: Initially barotropic vortices. Quart J Roy Meteor Soc. 1995. 121. 821—851

A NUMERICAL STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ASYMMETRIC STRUCTURE AND MOVING VELOCITY OF TYPHOON IN BAROCLINIC ATMOSPHERE

Yu Hui

(Shanghai Typhoon Institute, Shanghai, 200030)

Abstract

A quasi-geostrophic baroclinic model is used to study the correlation between the asymmetric structure and moving velocity of typhoon. Results show that: 1) the moving velocity of typhoon in west-east direction is negatively interrelated to the asymmetry in west-east and southwest-northeast direction at a distance of 100 km to 300 km away from typhoon center, while the moving velocity in north-south direction has a strong positive relationship with the asymmetry in northwest-southeast direction at a distance of 200 km to 500 km away from the center; 2) asymmetry of the lowest level circulation is the highest correlated to typhoon's moving velocity.

Key words: Baroclinity, Typhoon, Motion, Asymmetric structure, Numerical study.