

文章编号: 1004-4965(2010)06-0694-08

## 一次台风变性过程的锋生位涡反演诊断

周毅, 肖坤, 宋辉

(解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

**摘 要:** 采用锋生位涡反演诊断方法, 对一次发生在西太平洋上的台风变性过程进行了诊断分析和机制研究。主要从锋生演变的角度, 定量诊断了西风带高空冷涡低槽的动力强迫作用、中纬斜压锋区扰动、台风环流本身以及非平衡风场在台风变性过程的不同阶段所起的作用和影响, 并对以上各物理过程的相互作用、造成台风变性以及变性后再度增强的演变发展机制进行了分析讨论。结果表明, 台风变性过程具有显著的非平衡特征, 在台风变性过程的不同阶段具有明显不同的发展演变机制。

**关键词:** 台风变性; 锋生过程; 位涡反演; 诊断分析

**中图分类号:** P456.7

**文献标识码:** A

**Doi:** 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.06.007

### 1 引言

温带气旋和热带气旋是两类典型的天气尺度系统, 无论是温压场结构特征还是发生发展机制都有明显差异。这两类天气系统都可能造成大范围的灾害性天气过程, 因而受到气象工作者的广泛关注, 并进行了系统深入的分析研究。台风在向北移动过程中, 由于受到西风带斜压环境场的影响, 由具有暖心对称结构的热带气旋逐渐演变成为具有斜压结构的温带气旋, 这就是所谓的台风变性过程(简称ET)。许多研究表明: 中纬度地区的斜压锋区和垂直风切变是导致台风变性的基本环境条件。而台风低压和西风带槽脊系统之间的相互作用是决定台风变性后能否再度加强的关键因子。李英等<sup>[1]</sup>认为变性台风的发展加强与西风带高空槽的强度密切相关。Ritchie等<sup>[2]</sup>的数值试验结果表明: 台风变性后能否再度发展增强与台风低压和西风带槽脊系统的相对位置有很大关系, 更详细的研究进展可参阅文献[3]。由于台风变性过程通常出现在台风的减弱阶段, 特别是台风变性后再度发展增强可能造成的危害性并未引起足够的重视, 若在预报和防范不太周到的情况下, 很可能会给群众的生命财产安全

以及经济带来重大损失<sup>[4-6]</sup>。因此, 对台风变性过程的发展演变机制进行深入的研究具有重要的理论意义和现实意义。

台风变性过程最显著的特征是由具有暖心对称结构的热带气旋逐渐演变为具有冷暖锋结构的温带气旋, 所以台风的变性过程必然与锋生过程密切相关, 其变性后的再增强过程也一定伴随着锋生过程的明显增强。基于以上考虑, 本文采用锋生位涡反演诊断方法, 通过定量诊断中纬西风带槽脊系统、台风环流本身以及低层斜压锋区扰动在台风变性过程的不同阶段对锋生过程的作用和影响, 进而对台风变性过程的发展演变机制进行深入的分析研究, 以加深对台风变性过程的认识和理解。

### 2 天气过程概况

本文选取的个例是2006年9月23日00时—26日12时(世界时, 下同)发生在西北太平洋上的典型的台风变性过程, 编号为0614号台风Yagi。Yagi于2006年9月17日上午在威克岛西北偏西方向的西太平洋上生成后, 快速发展增强, 21日12时海平面中心气压值达到920 hPa。其后在向北移动的过程中经历了变性减弱和再度增强的发展演变过程。

收稿日期: 2009-06-10; 修订日期: 2009-11-30

基金项目: 自然科学基金(40805046、10871099); 公益性行业(气象)专项课题(GYHY(QX)2007-06-15、GYHY(QX)2009-06-09)共同资助

通讯作者: 周毅, 男, 四川省人, 硕士, 主要从事数值模拟和大气动力学的研究。E-mail: zhouyi1955@sohu.com

如图 1 所示, 台风 Yagi 变性阶段沿副高西侧缓慢向北移动, 强度逐渐减弱, 23 日 00 时以后转向东北方向移动, 移速有所加快, 并逐步进入西风带斜压锋区。24 日 18 时台风中心气压减弱到 990 hPa, 并变性演变为具有冷暖锋结构特征的温带气旋。随后在高空冷涡低槽的强迫影响下再度发展增强, 26 日 06 时海平面中心气压值达到 968 hPa。

为了便于分析讨论, 根据以上台风 Yagi 的移动路径及海平面中心气压值的演变情况, 本文选取以下两个具有代表性的时次: (1) 24 日 00 时, 代

表台风 Yagi 的变性阶段; (2) 25 日 06 时, 代表 Yagi 变性后再增强阶段。图 2 分别给出 24 日 00 时和 25 日 06 时的高度场和温度场。在 24 日 00 时的 850 hPa (图 2a) 上最明显的特点就是台风环流已经部分进入锋区, 说明台风已经受到西风带斜压锋区的影响; 从图 2b 可以看出, 500 hPa 上已经没有闭合的台风环流, 在台风低压中心上空仅看到一个弱槽, 此时北侧的冷涡低槽系统在东移的过程中有所南压, 与向北移动的台风环流逐渐靠近, 二个系统在未来的时间内将会相互影响。此时, 热带气旋的

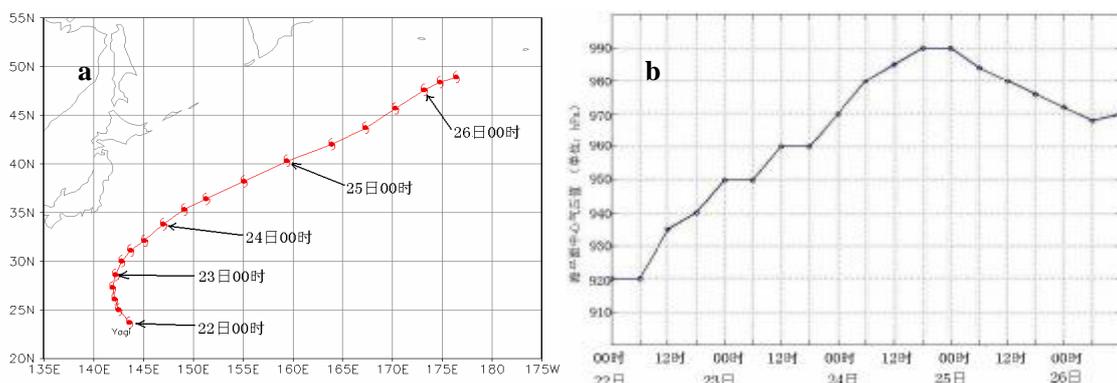


图 1 台风 Yagi 变性阶段的移动路径 (a) 和海平面中心气压值演变曲线 (b)

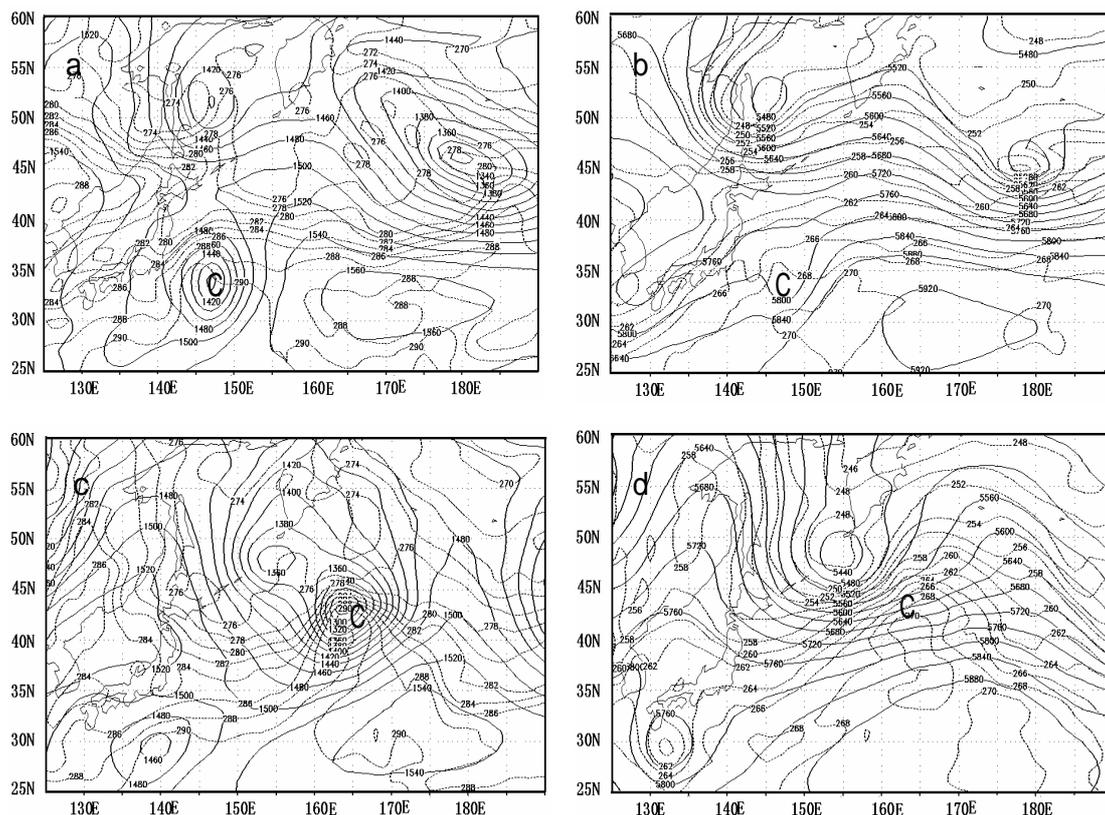


图 2 24 日 00 时 (a、b) 和 25 日 06 时 (c、d) 850 hPa (a、c) 与 500 hPa (b、d) 的高度场 (实线) 和温度场 (虚线) “C” 表示台风环流中心的位置, 下同。

对称暖心结构开始遭到破坏,低层的锋生过程也比较明显,表明台风低压已经进入变性阶段。

在 25 日 06 时的 850 hPa (图 2c) 上,台风环流已经完全进入北部锋区,并且低层锋区发生折叠,在台风低压环流中出现了明显的冷暖锋,500 hPa (图 2d) 上在台风低压中心位置上空已经看不到任何的气旋式切变,说明台风原来的暖心结构已经完全被破坏。此时,台风低压已经转变成为一个成熟的温带气旋,而低层的锋生过程也达到最强,变性后的低压环流正好位于高空槽前脊后的位置,台风低压、斜压锋区和高层的冷涡低槽系统之间的配置关系十分有利于变性后台风低压的再度发展增强。

### 3 锋生位涡反演诊断方法简介

位涡反演诊断方法是对天气动力学过程进行定量分析的一种有效方法,袁佳双等<sup>[7]</sup>研究了高低空位涡扰动、非绝热加热对气旋发生发展的影响,文莉娟等<sup>[8]</sup>对华南前汛期暴雨进行了湿位涡异常诊断。本文采用的锋生位涡反演诊断方法是根据 Davis 等<sup>[9]</sup>提出的埃特尔位涡反演诊断方法,首先反演计算出与各种动力学因子和物理过程相联系的扰动风场,再由锋生函数诊断公式分别计算出各扰动风场对锋生过程的贡献。这种方法不仅可以定量诊断出各种动力学因子和物理过程在台风变性过程的不同发展阶段所起的作用和影响,而且可以为我们分析研究各种动力学因子和物理过程相互作用,导致台风变性的机制提供依据。

本文主要是诊断 950 hPa 上的锋生过程,即直接与地面气旋相联系的锋生过程。考虑到该高度上的凝结潜热释放过程和垂直运动对锋生过程的影响不大,因此本文采用 Petterssen (1936) 提出的二维形式的锋生函数诊断方程,

$$F_{2D} = \frac{d}{dt} |\nabla q| = \frac{1}{|\nabla q|} \left[ -\frac{\partial q}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial q}{\partial y} \right) - \frac{\partial q}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial q}{\partial y} \right) \right] \quad (1)$$

锋生位涡反演诊断方法基于如下事实,即总风场可以分解为具有特定物理意义的各个部分风场,分别代入锋生函数计算公式(1)后就可以计算出由不同的动力因子和物理过程所引起的锋生。

为了定量表示非平衡风场对锋生函数的贡献作用,对二维形式的锋生方程(1)做如下数学处理,不难分离出与辐合辐散相联系的锋生作用。

利用流体力学知识可有,

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{1}{2}(D+E), & \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{1}{2}(F+z) \\ \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{1}{2}(D-E), & \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{1}{2}(F-z) \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$  表示水平散度,  $E = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$  表示伸展形变,  $F = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$  表示切变形变,  $z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$  表示垂直方向的涡度。利用式(2)可将式(1)改写为,

$$F_{2D} = \frac{d}{dt} |\nabla q| = \frac{1}{|\nabla q|} \left[ -\frac{E}{2} \left[ \left( \frac{\partial q}{\partial x} \right)^2 - \left( \frac{\partial q}{\partial y} \right)^2 \right] \right] + \frac{1}{|\nabla q|} \left[ -F \frac{\partial q}{\partial x} \frac{\partial q}{\partial y} \right] + \frac{1}{|\nabla q|} \left[ -\frac{D}{2} \left[ \left( \frac{\partial q}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial y} \right)^2 \right] \right] \quad (3)$$

式(3)右边的第一项表示水平伸展形变引起的锋生,第二项表示水平切变形变引起的锋生,此两项主要代表平衡风场对锋生过程的影响;第三项则表示水平辐合辐散引起的锋生,主要代表非平衡风场对锋生过程的影响。

以上无辐散平衡风场的各个部分均可通过位涡反演诊断得到,将其代入锋生函数诊断方程(3)即可分别计算出相应的锋生函数,从而定量诊断出各动力因子和物理过程对锋生过程的贡献作用。考虑到平衡风场对水平散度几乎没有贡献,所以水平辐合辐散对锋生过程的贡献作用则直接按式(3)中的第三项用实际风进行计算。

### 4 诊断方案设计

本文采用 2006 年全球大气 NCEP 再分析资料,时间间隔为 6 小时,经纬网格距为 1°,垂直分为 26 层。为便于计算取其在铅直方向间隔 50 hPa 的 20 层。平均场取 22 日 00 时—27 日 00 时共 5 天的平均,包含了台风 Yagi 变性阶段和变性后再增强阶段的整个演变过程。反演诊断的计算区域为 100~200°E, 20~70°N,格点数为 101×51×20。

运用位涡反演方法诊断具体的天气过程需要对位涡场进行合理划分,即分离出能代表各种动力因子和物理过程的位涡扰动。台风变性过程涉及到台风环流与中纬斜压锋区扰动和西风带槽脊系统之间的相互作用,针对台风 Yagi 变性过程的特点,本文采用以下分离方案:首先把总位涡场分解为平场位涡场和扰动位涡场;考虑到选取的台风变性个例中

对流层顶折迭造成的大值位涡下传达到了 500 hPa 以下, 因此把台风区域所包含的位涡扰动确定为与台风本身相联系的位涡扰动  $T_{\text{pert}}$ , 再把剩余区域中的位涡扰动以 500 hPa 为界分解为上下两层, 高层位涡扰动  $U_{\text{pert}}$  代表高空槽脊系统, 即与对流层顶折迭现象相联系的高层罗斯贝波, 下层位涡扰动  $S_{\text{pert}}$  则代表低层锋区的扰动。根据位涡反演的基本原理, 某一位涡扰动通过反演诊断可以同时得到相应的扰动风场和扰动位温场, 它们都会对锋生过程产生影响。但在实际锋生诊断计算时, 这种复杂的非线性关系很难处理, 因此, 在本文的锋生函数诊断计算方案中, 仅仅考虑了平均风场和各扰动风场以及以水平辐合辐散为主要成份的非平衡风场对实际位温场的动力学作用。

## 5 锋生位涡反演诊断结果的分析

为揭示台风变性过程中冷锋、暖锋的形成原因

和演变特征, 本节按前面的方案设计, 在 950 hPa 等压面上定量诊断各天气系统和动力因子在台风变性过程的不同阶段对气旋锋生过程的贡献和影响。

### 5.1 台风变性阶段

图 3 分别给出了 24 日 00 时 950 hPa 上与高层槽脊系统、与台风环流本身、与低层锋区扰动以及与辐合辐散相联系的锋生分布。此时, 在台风环流北部有一个总锋生函数大值区 (图略), 中心位置约为  $147^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$ , 中心强度为  $100 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。由图 3a 可以看到, 由高层位涡扰动反演得到的扰动风场所计算出的锋生函数基本为零。这表明在台风变性阶段, 高层位涡扰动对低层的锋生过程没有直接的贡献。由图 3b 可以看到, 由台风区域位涡扰动反演得到的扰动风场所计算出的锋生函数在台风环流暖锋附近有一个大值区, 中心位置约为  $147^{\circ}\text{E}$ ,  $36^{\circ}\text{N}$ , 中心强度为  $10 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ , 只占总锋生函数的 10%。这表明在台风的变性阶段, 台风环流本身对低层的锋生过程的贡献很小。

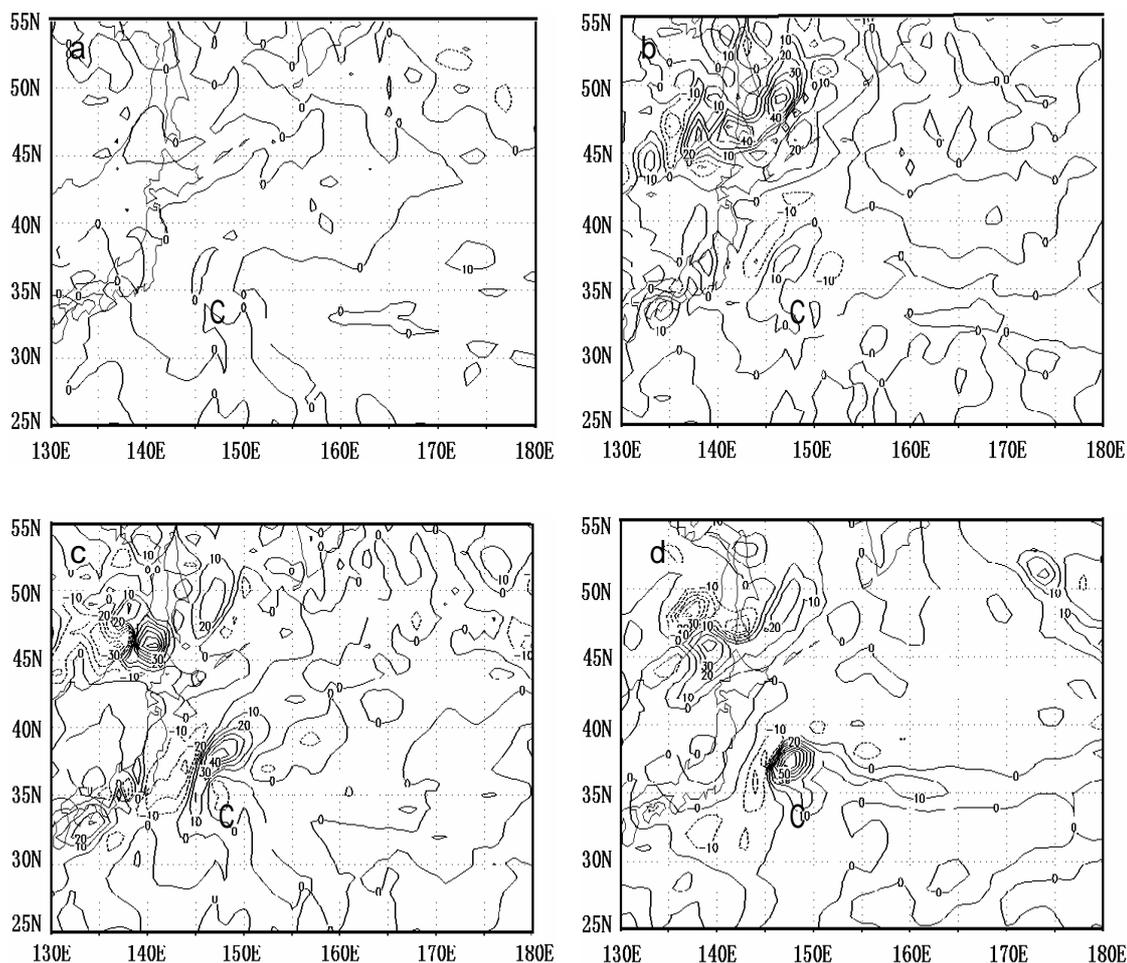


图 3 24 日 00 时 950 hPa 二维锋生函数分布 单位:  $10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。实线表示正锋生、虚线表示负锋生。a、c 分别表示与高、低层位涡扰动相对应的锋生分布; b、表示与台风区域位涡扰动相联系的锋生分布; d、表示与辐合辐散相联系的锋生分布。

由图 3c 可以看到, 在台风环流的北侧有一个锋生大值区, 中心位置约为  $147^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$ , 中心强度为  $40 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ , 同时, 该锋生大值区有一部分延伸到环流冷锋位置附近, 其值为  $10 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。这表明在台风变性阶段, 低层锋区扰动对低层的锋生过程具有较大的贡献。由图 3d 可以看到, 在台风环流的北侧有一个锋生大值区, 中心位置约为  $147^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$ , 中心强度为  $50 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ , 这表明在台风的变性阶段, 辐合辐散对低层的锋生过程也具有较大的贡献。

通过以上由锋生位涡反演诊断计算所得到的结果可以看出, 在台风的变性阶段的前期, 台风环流内部的锋生主要是由低层的锋区扰动和辐合辐散所造成的。

## 5.2 台风变性后的再增强阶段

与图 3 类似, 图 4 是 25 日 06 时 950 hPa 上与高层槽脊系统、与台风环流本身、与低层锋区扰动以及与辐合辐散相联系的锋生分布。此时, 实际锋生函数在台风环流的暖锋位置上有一个极强的锋生大值区, 中心位置为  $167^{\circ}\text{E}$ ,  $43^{\circ}\text{N}$ , 中心强度大于  $390 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ ; 在台风环流的冷锋位置上也有—条明显的带状锋生大值区, 中心位置位于  $162^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$ , 中心强度约为  $70 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。

由图 4a 可以看到, 在台风环流的暖锋位置上, 有一个很弱的锋生大值区, 强度为  $10 \times 10^{-8} \text{ K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ , 仅占总锋生函数的 2.5%。这表明在台风变性后的再增强阶段, 高层槽脊系统对低层锋生过程的直接贡献仍然很小。

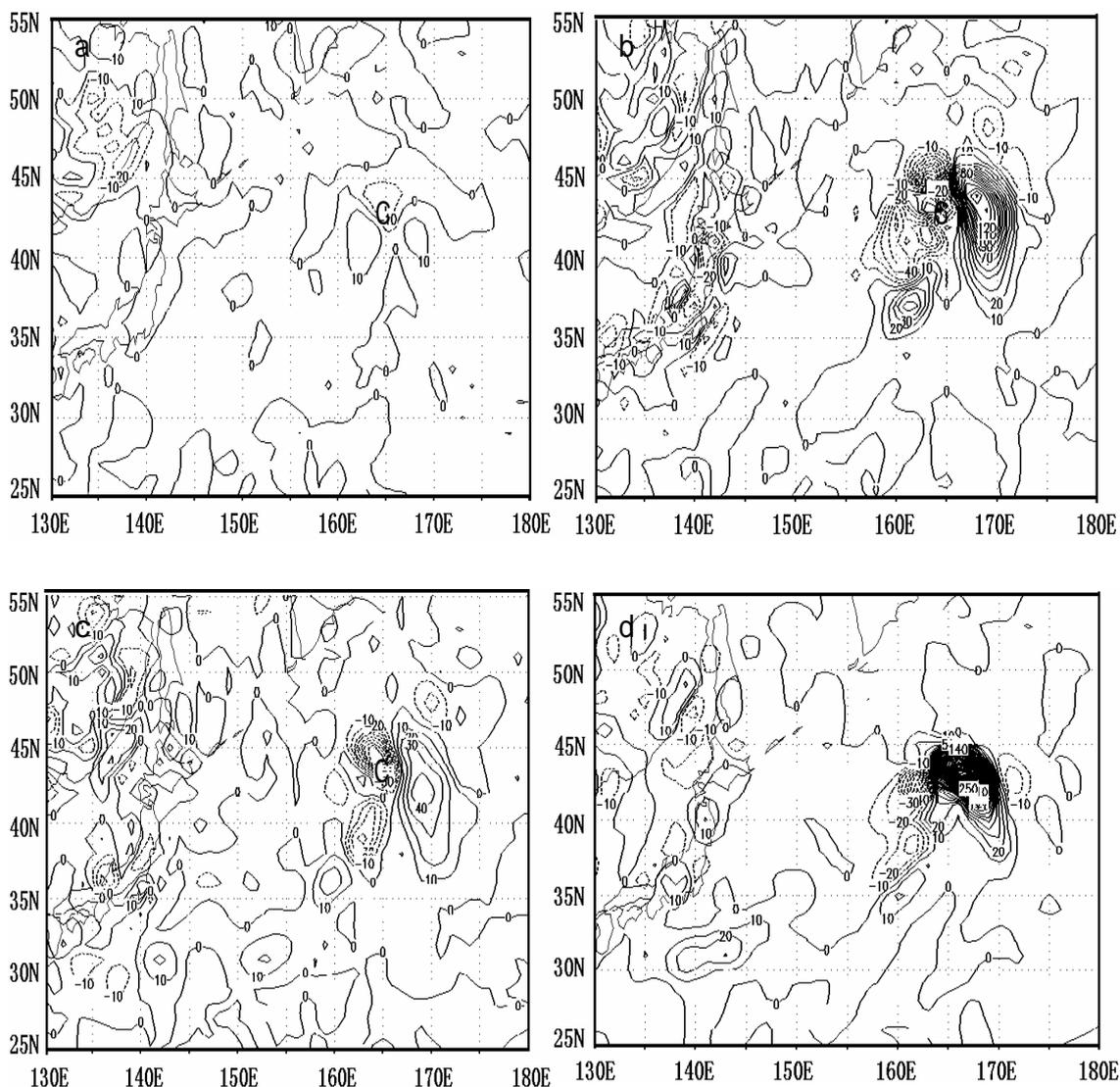


图 4 同图 3, 但为 25 日 06 时

由图 4b 可以看到,在台风环流暖锋和冷锋附近都有一个大值中心,中心位置分别位于  $168^{\circ}\text{E}$ ,  $43^{\circ}\text{N}$  和  $162^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$ , 中心强度分别为  $130\times 10^{-8}\text{K}/(\text{km}\cdot\text{s})$  和  $50\times 10^{-8}\text{K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。这表明在台风变性后的再增强阶段,台风环流本身对低层锋生过程的作用明显增大,对冷暖锋的形成都具有一定的作用和影响,特别是冷锋位置上的实际锋生函数主要是该部分的贡献所致。

由图 4c 可以看到,在台风环流的暖锋位置上有一个锋生大值区,中心位置约位于  $168^{\circ}\text{E}$ ,  $42^{\circ}\text{N}$ , 中心强度约为  $40\times 10^{-8}\text{K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ , 同时,与环流冷锋位置相对应也存在两个锋生大值区,中心位置分别位于  $160^{\circ}\text{E}$ ,  $37^{\circ}\text{N}$  和  $152^{\circ}\text{E}$ ,  $31^{\circ}\text{N}$ , 中心强度均为  $20\times 10^{-8}\text{K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。这表明在台风变性后的再增强阶段,低层锋区扰动对台风环流中冷暖锋的增强具有一定的贡献。

由图 4d 可以看到,在台风环流的暖锋位置上有一个很强的锋生大值中心,中心位置约为  $167^{\circ}\text{E}$ ,  $43^{\circ}\text{N}$ , 中心强度大于  $250\times 10^{-8}\text{K}/(\text{km}\cdot\text{s})$ 。这表明在台风变性后的再增强阶段,辐合辐散对台风环流中暖锋增强的贡献最大,但对台风环流中冷锋增强的贡献相对较小。

以上分析表明,与台风变性阶段相比,在台风变性后的再增强阶段,台风环流冷暖锋位置上的锋生过程都有明显增强,低层的辐合辐散、台风环流本身和低层锋区扰动是影响台风环流内部锋生过程的主要因子,其中低层锋区扰动对锋生过程的作用有所减弱,台风环流本身对锋生过程作用的影响明显增强。

## 6 台风变性过程演变发展机制的分析讨论

通过锋生位涡反演诊断结果的分析讨论,对影响台风变性和变性后再度增强的主要因子有了一定的认识和了解。但是,以下两个问题还需要做进一步的深入研究。

(1) 定量反演诊断结果表明,高空槽脊系统对低层锋生过程的直接贡献始终很小,即使在高空冷涡低槽和台风低压有明显相互作用的变性后再增强阶段也是如此,这显然与天气动力学概念不符,那么,高空槽脊系统对台风变性过程的影响机制究竟是什么?

(2) 定量反演诊断结果表明,无论在台风的变性阶段还是变性后的再增强阶段,低层辐合辐散都是影响低层锋生过程最重要的因子,引起低层辐合辐散的原因和机制又是什么呢?

### 6.1 高空槽脊系统对低层锋生过程的作用和影响

根据前面的分析讨论可知,在台风变性阶段,台风环流在北上过程中与南压的西风带冷涡低槽系统逐渐靠近,特别是在台风变性后的再增强阶段,台风低压已经处于西风带高空槽前的下方,按照通常的天气动力学概念,此时高层的冷涡低槽系统对于低层台风低压的发展演变应该具有明显的动力强迫作用。通过对高层位涡扰动反演诊断计算出的低层扰动风场的特征进行分析,可以清楚地说明西风带冷涡低槽对于锋生过程的强迫影响机制。

从图 5a (24 日 00 时) 上可看出,在台风变性阶段,随着台风环流部分进入西风带斜压锋区,位温场最明显的特征是近似东西走向的锋区发生折叠,在气旋中心上空形成了一个弱的暖脊;由高空槽脊系统所引起的低层扰动风场最显著的特征是高空冷涡低槽和高空脊的下方分别为闭合的气旋式环流和反气旋式环流,这两支环流位置偏北,对与锋区的扰动和暖脊的形成没有直接的作用和影响。

从图 5b (25 日 06 时) 上可以看出,在台风变性后的再增强阶段,位温场最明显的特征是随着锋区扰动的发展,气旋中心上空的暖脊进一步增强;由高空槽脊系统所引起的低层扰动风场在高空槽前脊后的下方形成了一支明显的偏南气流。这支偏南气流叠加在低层东西向锋区之上,形成了很强的暖平流,十分有利于低层锋区扰动的发展增强,进而对锋生过程产生作用和影响。

除此以外,还可以从辐合辐散的角度进一步说明西风带高空槽脊系统在台风变性过程中对低层锋生过程的动力强迫作用。从 25 日 06 时的散度场分析表明(图略),在  $500\text{ hPa}$  高空槽前存在明显的强辐散区,而在  $950\text{ hPa}$  锋生大值区的位置上存在明显的强辐合区,低层强辐合区正好位于高空强辐散区的下方。这表明在台风变性后的再增强阶段,随着西风带冷涡低槽的加深南下,槽前正涡度平流激发出强烈的高层辐散和低层辐合,进而对低层的锋生过程产生影响。

综上所述,尽管在本文的锋生位涡反演诊断结果中,与高层位涡扰动相联系的扰动风场对低层锋

生过程没有直接的贡献,但西风带冷涡低槽系统通过强迫低层锋区扰动和低层辐合对台风变性后再增

强阶段的锋生过程仍具有十分重要的作用。

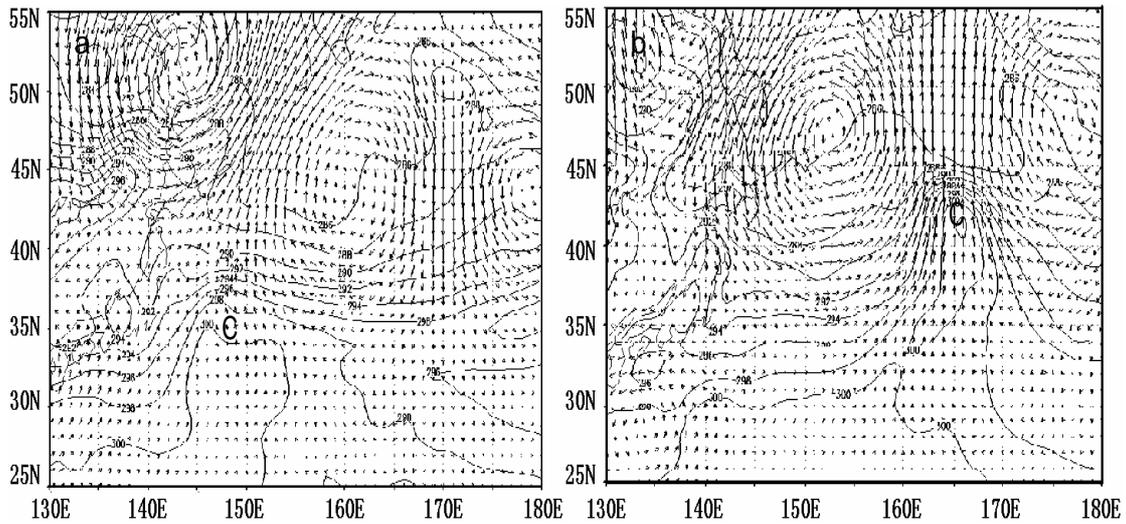


图5 24日00时(a)和25日06时(b)950 hPa位温场和由高层位涡扰动反演出的扰动风场  
“C”为海平面台风低压中心。

## 6.2 台风变性过程的演变发展机制

前面采用锋生位涡反演诊断方法,定量诊断计算了各种动力因子和物理过程在台风变性阶段及再增强阶段对锋生过程所起的作用和影响,在此基础上,进一步分析讨论台风环流、高层槽脊系统以及低层斜压锋区之间的相互作用,可以加深对台风变性过程演变发展机制的理解和认识。

在台风的变性阶段(24日00时),台风环流已经部分进入西风带斜压锋区,台风环流的对称暖心结构开始遭到破坏。此时,西风带冷涡低槽与锋生大值区相距较远,并没有对低层的锋生过程产生明显的动力强迫作用,在台风环流北部锋区上出现的東西向的锋生大值区主要是由低层锋区扰动和辐合辐散造成的。当台风环流进入到北侧斜压锋区之后引起低层斜压锋区发生扰动,进而影响锋生过程。同时,积云对流和锋面抬升作用造成的凝结潜热释放所引起的低层强辐合,也对锋生过程产生重要的影响。因此可以认为,在台风变性阶段,低层的锋生过程主要是由于台风环流进入斜压锋区之后产生相互作用的结果。

在台风变性后的再增强阶段(25日06时),对称暖心结构完全遭到破坏,台风环流已经演变为具有冷暖锋面结构特征的温带气旋。此时其海平面中心气压开始加深,在台风环流内部冷暖锋位置上出现的强烈锋生主要是由与台风环流本身相联系的

平衡扰动风场和与低层辐合辐散相联系的非平衡风场造成的。与台风变性阶段相比,高空冷涡低槽在加强南压的过程中逐渐靠近台风环流,高空冷涡低槽与低层低压系统之间的配置关系十分有利于斜压扰动的发展增强。这表明台风变性后的再度增强与Sutcliffe等<sup>[10]</sup>研究过的气旋自身发展过程相类似,其本质是一种温带气旋的斜压发展机制。

## 7 结 论

(1) 台风变性过程具有显著的非平衡特征,无论在台风变性阶段还是在变性后的再增强阶段,水平辐合辐散对低层锋生的贡献都大于50%。

(2) 台风变性过程是一类十分复杂的天气演变过程,是西风带冷涡低槽系统、台风环流本身以及低层斜压锋区相互作用的结果,在台风变性过程的不同阶段具有明显不同的发展演变机制。

(3) 在台风的变性阶段,变性过程的演变发展主要是台风环流与东西向的斜压锋区相互作用的结果。台风环流进入西风带斜压锋区之后,一方面引起低层锋区扰动的产生和加强;另一方面使得凝结加热区位于台风环流中心的东北侧,在该区域引起低层的强辐合,进而对低层的锋生过程产生作用和影响。

(4) 在台风变性后的再增强阶段,变性过程

的演变发展主要是高空冷涡低槽与低层低压系统相互作用的结果。西风带冷涡低槽系统通过强迫低层锋区扰动和低层辐合对变性后再增强阶段的锋生过

程具有十分重要的作用和影响。因此，高空冷涡低槽与低层低压系统之间的配置关系是决定斜压扰动能否发展增强的关键因子。

## 参 考 文 献:

- [1] 李英, 陈联寿, 雷小途. 高空槽对 9711 号台风变性加强影响的数值研究[J]. 气象学报, 2006, 64 (5): 552-563.
- [2] RITCHIE E A, ELSBERRY R L. Simulation of extratropical transition of tropical cyclones: Phasing between the upper-level trough and tropical cyclones[J]. *Mon Wea Rev*, 2007, 135 (3): 862-876.
- [3] 陈艳秋, 潘益农. 热带气旋变性问题的研究进展[J]. 南京大学学报(自然科学), 2007, 43 (6): 671-679.
- [4] 赵宇, 吴增茂, 刘诗军, 等. 由变性台风环流引发的山东特大暴雨天气的位涡场分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21 (1): 34-43.
- [5] 崔着义, 张胜平, 陈翠英, 等. 0509 号台风“麦莎”对山东造成的暴雨洪水灾害分析[J]. 海洋预报, 2006, 23 (1): 38-43.
- [6] 梁军, 陈联寿, 李英, 等. 北上变性热带气旋对辽东半岛降水的影响[J]. 热带气象学报, 2008, 24 (5): 449-458.
- [7] 袁佳双, 寿绍文. 高低空位涡扰动、非绝热加热与气旋的发生发展[J]. 热带气象学报, 2002, 18 (2): 121-130.
- [8] 文莉娟, 程麟生, 左洪超, 等. “98.5”华南前汛期暴雨的湿位涡异常诊断: 质量和热力强迫的数值分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(5): 447-453.
- [9] DAVIS C A, EMENUEL K A. Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis[J]. *Mon Wea Rev*, 1991, 119 (8): 1 929-1 953.
- [10] SUTCLIFFE R C. A contribution to the problem of development[J]. *Quart J R Met Soc*, 1947, 73: 370-383.

## DIAGNOSIS OF THE DEVELOPMENTAL MECHANISM OF AN EXTRATROPICAL TRANSITION OF TROPICAL CYCLONES USING OF POTENTIAL VORTICITY INVERSION OF FRONTOGENESIS

ZHOU Yi, XIAO Kun, SONG Hui

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

**Abstract:** This paper diagnoses and analyses the developmental mechanism of a process of extratropical transition of tropical cyclones which occurred on West Pacific Ocean based on potential vorticity inversion of frontogenesis diagnosis method. The study diagnoses quantitatively the action and affection of dynamic influence of westerly cold trough, middle latitude baroclinic frontal zone, cyclone cycle and imbalanced wind field during the different stages of the extratropical transition of tropical cyclones, and also discusses the interaction between them and the developmental mechanism of the extratropical transition of tropical cyclones. The results show that: there are different developmental mechanisms during each stage of the extratropical transition of tropical cyclones, and the processes are also unbalanced.

**Key words:** extratropical transition of tropical cyclones; frontogenesis; potential vorticity; mechanism analysis