

# 登陆台风衰减与变性过程的对比研究

谭锐志· 梁必骐

(大气科学系)

## 摘 要

本文对登陆台风Freda的衰减和变性阶段进行了水汽、动能的对比诊断研究,结果表明,水汽供应条件对于台风登陆后的强度变化十分重要。台风北上过程中,副高边缘的偏南低空急流是最主要的水汽输送带,台风登陆后在衰减过程中,可看作是一个动能的“准封闭系统”,次网格尺度效应及摩擦作用是台风衰减的主要因子;变性阶段,在对流层高层有大量的动能输出,次网格尺度效应成了重要的动能源,台风与西风带相互作用时的动能平衡与温带气旋类似。

**关键词** 登陆台风, 衰减, 变性, 水汽收支, 动能收支

自Palmen<sup>[1]</sup>对登陆北美的Hazel飓风进行了系统的能量学分析以来,关于登陆台风的研究取得了很大进展。但在国内,除谢安<sup>[2]</sup>对7613号登陆台风作了能量学分析外,这方面的工作还少见。本文通过对登陆台风Freda的水汽及动能的综合诊断分析,以期进一步了解登陆台风衰减阶段和变性阶段各自的变化机制及其内部差异。

台风Freda于1984年8月8日凌晨在福州附近登陆,台风中心气压为988hPa,最大风力为10级。以后台风向北移动并不断减弱,9日08时移至河南境内减弱为低压(中心气压为996hPa,最大风力仅5级),仍保持热带系统性质(图1a)。10日08时移至天津附近,在西风带系统和弱冷空气影响下(图1b),台风低压变性发展,中心加深到993hPa,最大风力增至6级。10日14时台风低压移到辽宁西部,进一步变性为温带气旋,以后继续北上,并东移出海。该台风登陆后深入内陆,经历了减弱、变性发展过程,造成了华北东部和辽宁西部地区的特大暴雨(过程降水量达300mm以上)。因此这是一个具有代表性的登陆台风过程。

## 1 资料和方法

8407号台风登陆后半径不超过4个纬距,所以我们取网格距为 $1.25 \times 1.25$ 。应用常规地面和高空资料,对1984年8月8日20时至10日08时共4个时次(间隔12小时)的高度场、风场、温度场、湿度场及地面气压场,使用逐步订正法进行客观分析,将要素值插到跟踪台风移动的 $9 \times 9$ 个网格点上,在垂直方向上用拉格朗日插值方法插出900hPa、800hPa等压面上各网格点要素值。为消去观测记录和资料处理的误差,对各种要素进

本文1988年12月20日收到

● 现在广东省热带海洋气象研究所工作

行了平滑处理。

垂直速度的计算是通过积分连续方程得到的,并用 O'Brein 方法订正<sup>[3]</sup>。在垂直边界上取齐次条件。

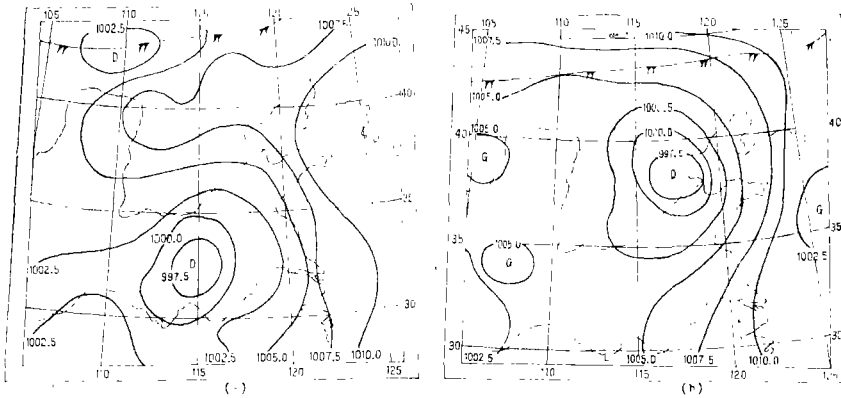


图1 登陆台风的地面天气形势图(单位:hPa)

Fig. 1 Surface synoptic situation charts (unit:hPa)

a. 1984年8月9日08时;

b. 1984年8月10日08时。

## 2 水汽收支分析

由于在上下界取了 $\omega$ 的齐次边界条件,故区域平均的水汽收支方程:

$$\frac{1}{Ag} \int_{p_T}^{p_S} \int_A \frac{\partial q}{\partial t} dp dA + \frac{1}{Ag} \int_{p_T}^{p_S} \int_A \nabla \cdot \vec{V} q dp dA = -m + Es \quad (1)$$

上式中 $A$ 是研究区面积, $p_S$ 和 $p_T$ 分别是地面和顶层气压, $-m$ 是水汽凝结量, $Es$ 是地面蒸发项。一般局地变化与蒸发项较小,而水汽水平通量散度项和水汽凝结量是最重要的两大项。假设整个气柱中水汽的凝结量全部变成降水量,则大气柱中水汽的减少即为降水量。所以,在某一指定的降水区内,整层水汽水平辐合的大小近似地等于降水率。我们主要计算了水汽水平通量散度这一项。

表1给出了部分计算结果。表中正号表示流出,负号表示流入,AQQW、AQQE、AQQS、AQQN分别表示西、东、南、北4个方向的通量值。可以明显看出,8日20时和9日08时,水汽输送主要来自东、偏南方向,10日08时水汽主要来源于偏南方向,它们都基本集中在500hPa以下。还可以看到,9日08时来自偏南方向的水汽通量较8日20时大,而且来自偏东方向的水汽通量减少了,10日08时则主要是偏南方向输送水汽。水汽通道由东南方向朝偏南方向的偏转,反映了登陆北上台风与副高边缘低空急流的相对位置的变化。台风刚登陆后一段时间,离急流较远。随着台风北上,急流与台风间的距离逐渐缩短,急流轴的方向也由东南变为偏南。这支低空水汽输送通道为台风暴雨提供了水汽条件。

比较各时次的总辐合量,台风低压在变性前的水汽输送是不断减少的。实际上9日降水量比8日要小,且台风迅速地衰减,但10日08时的水汽辐合量则由9日08时的





中层转为负值，而在顶层和边界层都有正的极值。这种双峰型的特点与温带系统中的动能产生率的典型分布类似<sup>[7]</sup>。其次，余项也发生了显著的变化，整层积分为 $4.46\text{W/m}^2$ ，在 $600\sim 200\text{hPa}$ 变成了正值，且随高度增大， $200\sim 100\text{hPa}$ 又变成了大的负值。余项为什么在 $600\sim 200\text{hPa}$ 出现正值呢？一个可能的解释是次网格尺度效应（即对流层中层的对流活动和高层的涡动动量输送等），这种次网格尺度和网格尺度运动之间的相互作用是一种非线性作用，目前对这种过程的机理还了解不多。在8407号台风变性阶段，次网格尺度效应对于动能平衡起着十分重要的作用。另外，水平输送项比衰减阶段也有明显增大，整层积分达到 $-11.04\text{W/m}^2$ ，这一负值是因为高层大的动能输出造成的，在 $600\text{hPa}$ 以下，动能的输入也与同层次其他项的量级相当。垂直输送项的作用，在两个阶段都是将低层动能向高层输送。

总而言之，台风在变性阶段已具有某些温带系统的特征，在中低层（ $500\text{hPa}$ 以下）气压场做功和水平通量辐合是能源，而摩擦和次网格尺度效应以及垂直通量辐散是能汇；在 $500\text{hPa}$ 以上，气压场做功的总效果和次网格尺度效应以及垂直通量辐合是能源，而水平通量辐散则是主要的能汇。

图2、图3分别给出了台风登陆后各阶段 $-\omega\alpha$ 与动能制造项的垂直分布。比较可知，只有很小一部分 $-\omega\alpha$ 转换为动能制造（ $-\vec{V}\cdot\nabla\phi$ ），衰减阶段和变性阶段的 $-\omega\alpha$ 整层积分分别为 $119.19$ 和 $343.56\text{W/m}^2$ ，而对应的动能制造率分别是 $14.53$ 和 $16.6\text{W/m}^2$ ，两者相差一个量级以上，这与文献[2]、[8]的结果类似。从理论上分析，对于有限区域，位能的释放并不与动能产生率相当，由公式：

$$-\alpha\omega = -\vec{V}\cdot\nabla\phi + \nabla\cdot\vec{V}\phi + \frac{\partial}{\partial p}(\omega\phi) \tag{3}$$

可知，有限区域所释放的位能并不都转变为动能，它还伴随有这种能量在大气中的重新分布。计算表明（结果未全部给出），各层位能水平通量散度和垂直通量散度的量级与

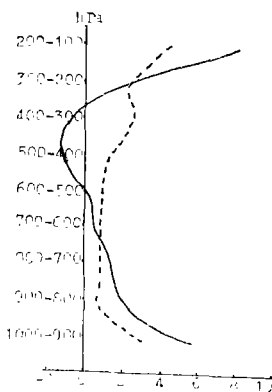


图2  $-\omega\alpha$ 垂直分布(单位:  $10\text{W/m}^2$ )  
(实线: 变性阶段; 虚线: 衰减阶段)  
Fig. 2 The vertical distribution of  $-\omega\alpha$ (unit:  $10\text{W/m}^2$ )  
(Solid line: the modification stage; Dash line: the decay stage)

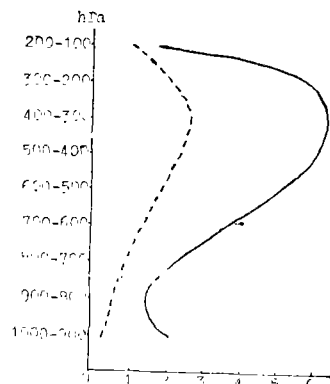


图3 动能制造项的垂直分布(单位:  $\text{W/m}^2$ )  
(说明同图2)  
Fig. 3 The vertical distribution of the kinetic energy generation term(unit:  $\text{W/m}^2$ )(Explanation is the same as that in Fig.2)

$\omega\alpha$ 相当,这说明区域与环境大气的位能交换是相当大的。从图3我们还可以看到,  $-\omega\alpha$ 都是在中高层较大,且变性阶段的位能释放远大于衰减阶段。

### 3.3 与其它研究工作的比较

由于各个研究者所选的个例的区域范围和登陆台风的生命阶段不同,所以要进行比较是有困难的,为此我们尽量选择相同的阶段进行比较。

在衰减阶段,比较的对象包括飓风Celia<sup>[2]</sup>、飓风Garmen<sup>[9]</sup>、7613号台风<sup>[2]</sup>以及一个温带气旋<sup>[10]</sup>;变性阶段,选取飓风Candy<sup>[11]</sup>、飓风Hazel<sup>[1]</sup>、7613号台风以及同一个温带气旋(成熟阶段)。

由表3a可见,在衰减阶段,几个登陆台风个例的共同特点是扰动系统与环境大气的动能交换都很小,即衰减中的登陆台风低压在动能上可以当作“准封闭系统”。这一结论是否具有普遍性,

有待于更多的个例分析证实。

当台风处于变性阶段时(表3b),台风低压在动能上不再具有“准封闭”的特点。7613号台风在低层有较大的动能输入,而其它个例都表现为高层有大量的动能输出。另外,几乎所有个例计算都表明,动能制造项的垂直分布(图略)很类似于温带气旋(呈双峰型)。这是台风与

西风带作用的普遍特性。另一个共同特点是次网格尺度效应项的垂直分布(图略)几乎都是高层和低层为负值,中上层为大的正值,这可能是由于对流层中层对流活动较强的缘故。

## 4 结论与讨论

根据前面的计算和分析,我们可以给出台风登陆后衰减与变性过程的演变物理图象。台风登陆后,随着下垫面的更换,不仅摩擦增大,而且来自边界层的水汽供应也中断,并且台风愈向内陆,大气水平输送的水汽也会减少,因而大大抑制了台风内对流的发展,使潜热释放大量减少,台风仅仅依靠穿越等压线所产生的动能不足以克服摩擦和次网格消耗作用,结果导致台风趋于消亡,此时的台风在动能上可看作“准封闭系统”。但当衰减中的台风低压移至中纬与西风带相互作用时,一方面由于其与副高边缘的低空急流相接近,另一方面由于低压环流与海洋相连,水汽供应条件得到很大改善,在北方

表3 不同登陆台风的动能收支比较(1000~100hPa)  
(单位:  $W/m^2$ )

Tab. 3 The kinetic energy budgets for different landing typhoons (1000~100hPa)(unit:  $W/m^2$ )

台风名称	$\partial k/\partial t$ ( $\delta k/\delta t$ )	$-\bar{V}\cdot\nabla\phi$	$-\nabla\cdot\bar{V}k$ ( $-\nabla\cdot(\bar{V}-\bar{C})k$ )	余项
a. Celia	-9.6	9.0	-1.2	17.3
7613号台风	-4.2	-20.3	-1.3	16.9
Garmen	-3.0	-0.8	0.5	4.5
温带气旋	-4.4	16.5	-14.1	-6.8
8407号台风	-0.6	14.5	-1.4	-13.9
b. Candy	33.4	17.1	-15.6	1.9
7613号台风	-11.4	33.8	9.7	-59.8
Hazel	...	51.1	-50.5	...
温带气旋	1.0	27.0	-13.4	-38.4
8407号台风	10.0	16.6	-11.0	4.5

弱冷空气的扰动下,产生强烈的湿斜压不稳定,湿对流强烈发展,暴雨产生,释放大量的凝结潜热,在潜热能与锋面斜压能的共同作用下,低压重又变性发展。

应该指出,上述过程释放出的潜热,主要是通过次网格尺度作用向网格尺度输送动能。因为变性阶段动能产生项整层积分并不比衰减阶段大多少,所以在台风低压变性发展过程中,次网格尺度效应对动能平衡所起的作用是十分重要的。但是,目前对这种非线性作用尚未有清楚的了解,因此有必要对这种特殊的湿过程作进一步的探讨。

### 参 考 文 献

- [1] Palmen E, *Tellus*, 10(1958), 1~23
- [2] 谢安等, *气象学报*, 40(1982), 289~299
- [3] O'Brein J, *J. Appl. Met.*, 9(1970), 197~203
- [4] 蒋尚城等, *气象学报*, 39(1981), 18~26
- [5] Smith D J et al., *Rev. Geophys. Space. Phys.*, 12(1974), 218~284
- [6] Vincent D G et al., *Tellus*, 27(1975), 215~233
- [7] Kung E C et al., *Bull. Amer. Met. Soc.*, 55(1974), 768~777
- [8] Anthes R A, *Mon. Wea. Rev.*, 98(1970), 521~528
- [9] Edmon H J et al., *Mon. Wea. Rev.*, 107(1979), 295~313
- [10] Petter S S et al., *Quart. J. Roy. Meteo. Soc.*, 97(1971), 457~482
- [11] Kornegay F C et al., *Mon. Wea. Rev.*, 104(1976), 849~859

## A Comparative Diagnosis Study for the Decay and Modification Process of a Landing Typhoon

Tan Reizhi Liang Biqu\*

### Abstract

This paper presents a comparative diagnosis on water vapour and kinetic energy for the decay and modification process of a landing typhoon. The results show that the supply condition of water vapour affected strongly the intensity of the landing typhoon. The low-jet between the typhoon and a subtropical high was a primary transport belt of water vapour when the typhoon moved northward. In the decay process the landing typhoon could be considered as a "quasi-closed" system in kinetic energy. The subgrid scale effect and friction were the main dissipation factors. However, during the modification process, lots of kinetic energy were transported outward in the upper troposphere, and the subgrid scale effect became important in kinetic energy supply. When the typhoon interacted with westlies its kinetic energy budget was similar to those of extratropical cyclones.

**Keywords** landing typhoon, decay, modification, water vapour budget, kinetic energy budget

\* Department of Atmospheric Sciences