

台风异常北上时期的天气和次天气 尺度环境场特征

胡 坚 费 亮

(上海台风研究所)

提 要

本文利用一个空间滤波器,将台风环境场分解为天气和次天气尺度。在此基础上,对两个异常北上的台风路径(8211号台风(Cecil)和8305号台风(Abby))进行诊断分析。结果表明:台风异常北上时期出现在天气尺度环境场发生环流调整的过程中,在500hPa高度场上,台风异常北上时,表现出向着次天气尺度扰动中心传播方向移动的趋势,在天气尺度环境场作用明显减弱时期,这可能是导致台风路径异常的重要因素;同时,在动能场上,台风则表现出向着正值的次天气尺度动能制造区伸展方向移动。

一、引 言

影响我国的疑难台风路径包括两类:曲折多变的异常路径;路径虽较正常,但与最佳引导层气流交角很大。8211和8305号台风属于后一类路径。一般认为,疑难路径不仅是天气尺度环境流场突然调整的结果,而且与次天气尺度的过程有关,同时,还牵涉到天气与次天气尺度的相互作用。因此,用区分出天气和次天气尺度系统的方法^[1]来研究台风的疑难路径可能是有益的。本文应用一个低通滤波器进行尺度分离,并借助于诊断工具,以揭示出控制8211和8305号台风北上过程的某些物理特征。

二、资料与计算方法

8211和8305号台风路径是两条分别沿124°E和130°E附近北上的疑难路径。本文利用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的网格点(5°×5°格距)客观分析资料,分析和计算这两个例子的天气和次天气尺度的位势高度场及动能平衡项。计算范围为0—60°N, 90°E—180°;垂直方向取7层:100、200、300、500、700、850和1000hPa。计算时间包括1982年8月4日—14日和1983年8月6日—16日。

本文应用了一个修正加权函数的空间滤波器,其形式如下:

$$f(i, j) = f_0(i, j) + \frac{\sum_{n=1}^N W_n' D_n(x, y)}{\sum_{n=1}^N W_n'}$$

这里 $D_n = f_n(x,y) - f_0(x,y)$, $f_0 = \frac{\sum_{n=1}^N W_n \cdot f_n(x,y)}{\sum_{n=1}^N W_n}$

其中 $W_n = \exp(-\frac{r_n^2}{4c})$ 为距离权重函数; $W'_n = \exp(-\frac{r_n^2}{4Gc})$ ($0 < G < 1$) 为修正的权重函数, c 是一个与空间波长有关的参数。

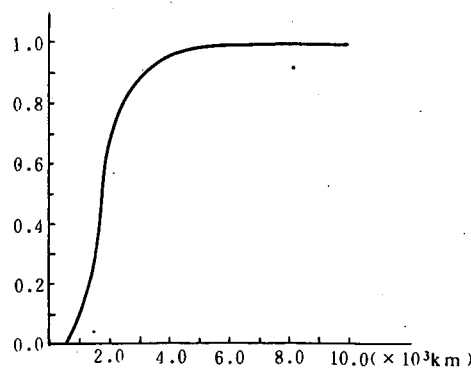


图1 低通滤波器的响应函数
($c = 6.0 \times 10^{-11}, G = 0.4$)

本文定义1000~1500km波长的系统为次天气尺度,大于2000km的为天气尺度系统。为了反映这两类系统的特征,取 $c = 6.0 \times 10^{-11}, G = 0.4$,由此构成的响应函数如图1所示。可以看到,波长为1500km的波动衰减了60%以上,1000km及其以下的波动则衰减了90%以上,基本上滤去了次天气尺度波,而保留了天气尺度波。这样,任一物理量 F 可以写为:

$$F = \tilde{F} + F^*$$

其中, $\tilde{F}$ 表示天气尺度特征, F^* 则代表了次天气尺度的扰动。

据此,可以推导出天气和次天气尺度的动能平衡方程:

$$\begin{aligned} \int_{p_b}^{p_t} \frac{\partial k}{\partial t} dp = & - \int_{p_b}^{p_t} \nabla \cdot (\tilde{\vec{V}} \cdot \tilde{\vec{k}}) dp - \int_{p_b}^{p_t} \frac{\partial}{\partial p} (\tilde{\omega} \cdot \tilde{\vec{k}}) dp - \int_{p_b}^{p_t} \tilde{\vec{v}} \cdot \nabla \varphi dp \\ & + \int_{p_b}^{p_t} \tilde{\vec{v}} \cdot \vec{\Gamma} dp + \int_{p_b}^{p_t} RK S dp \\ \int_{p_b}^{p_t} \frac{\partial k^*}{\partial t} dp = & - \int_{p_b}^{p_t} \nabla \cdot (\vec{v} \cdot \vec{k}^*) dp - \int_{p_b}^{p_t} \frac{\partial}{\partial p} (\omega \cdot \vec{k}^*) dp - \int_{p_b}^{p_t} \vec{v}^* \cdot \nabla \varphi^* dp \\ & + \int_{p_b}^{p_t} (\vec{v}^* \cdot \vec{\Pi} - \vec{v} \cdot \vec{\Gamma}) dp + \int_{p_b}^{p_t} RKE dp \end{aligned}$$

这里, $\vec{\Gamma} = - [\frac{\partial}{\partial x} (\widetilde{u \cdot \vec{v}} - \widetilde{u} \cdot \tilde{\vec{v}}) + \frac{\partial}{\partial y} (\widetilde{v \cdot \vec{v}} - \tilde{v} \cdot \tilde{\vec{v}}) + \frac{\partial}{\partial p} (\widetilde{\omega \cdot \vec{v}} - \tilde{\omega} \cdot \tilde{\vec{v}})]$
 $\vec{\Pi} = - [\frac{\partial}{\partial x} (\tilde{\vec{v}} \cdot \vec{u}^*) + \frac{\partial}{\partial y} (\tilde{\vec{v}} \cdot \vec{v}^*) + \frac{\partial}{\partial p} (\tilde{\vec{v}} \cdot \vec{\omega}^*)]$

式中,等式左边为天气尺度动能的变化 DKS ,等式右边分别为水平输送 HKS ,垂直输送 VKS 和制造项 GKS ,天气和次天气尺度动能的非线性相互作用项 IKS ,网格和次网格尺度的相互作用项 RKS (作为余项处理)。次天气尺度动能平衡中的各对应项与上述意义类似。依次符号为 DKE, HKE, VKE, GKE, IKE 和 RKE ,其余符号均为气象上常用。

三、天气与次天气尺度环境场的作用

在台风转向北上前期(两个台风的转向日期分别为1982年8月7日和1983年8月8日),

对流层高层大尺度环流场的一个显著特征是, 青藏高压向东北伸展加强, 同时“洋中槽”(TUTT)西伸(见图2(1))。这种形势有利于吸引对流层中层的副热带高压向北伸展, 造成大尺度环流的径向度加大。台风的异常北上时期(即: 1982年8月7—12日和1983年8月10—12日)出现在中层大尺度环流由纬向型向经向型调整的过程中。如图2(2)所示, 此时, 台风处于一个弱的大尺度环境高度场中, 所谓“引导气流”已不具有引导台风移动的控制作用。这种形势与文献[2]指出的以强经向型副高为特征的正常北上路径有本质的差别。

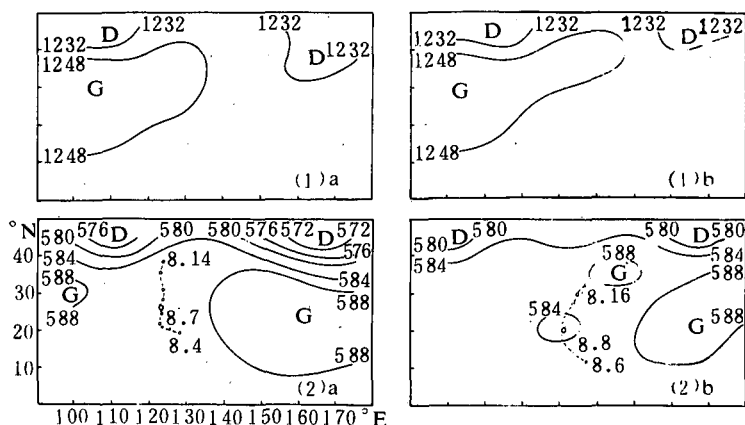


图2 东亚—西北太平洋上空的天气尺度位势高度场(单位: 位势什米) (1)a、(1)b 分别为1982年8月4日和1983年8月6日的200hPa 高度场 (2)a、(2)b 分别为1982年8月10日和1983年8月10日的500hPa 高度场

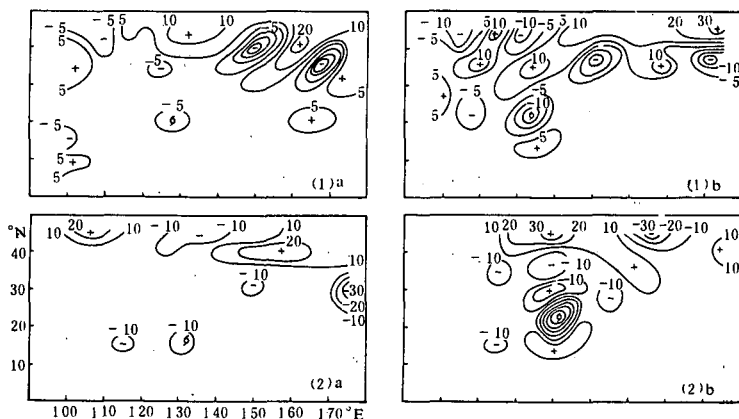


图3 东亚—西北太平洋500hPa 上的次天气尺度位势高度场(单位: 位势米) (1)a、(1)b 分别为1982年8月4日和8月8日的高度场 (2)a、(2)b 分别为1983年8月8日和8月12日的高度场

另一方面, 由图3所示的500hPa 上次天气尺度的位势高度场可以看到, 在台风相对稳定西行期间, 东亚及其近海地区的次天气尺度扰动的强度和影响范围均较小, 这可能与纬向伸展的副热带高压的抑制作用有关。在台风异常北上时期, 由于大尺度环境场较弱, 扰动的强度和范围相对加大, 而且出现了沿东亚近海呈经向排列的扰动中心, 分析这种中心的逐日变化便发现, 它们由南向北传播, 正好与台风移动方向相一致。因此, 可以推测, 在

天气尺度波动减弱,其“引导气流”失去作用的形势下,这种次天气尺度扰动的突然加强和传播可能是导致台风路径发生异常的一个重要过程。而这一过程在未经滤波的天气图上是不清楚的。

四、天气和次天气尺度的能量过程

表1为西北太平洋地区面积平均的天气尺度动能的垂直积分值。可以看出,8211和8305号台风过程都表现出在台风转向北上之前,天气尺度动能减小即 $DKS<0$,北上时期 $DKS>0$ 。由于这种动能变化主要反映了西风带天气尺度波的活动。因此,在台风转向前后,环流经历了一次调整过程。这与前述的环流分析是一致的。另一方面,动能制造项(GKS)始终作为天气尺度的主要、且稳定的能源(尤其在中上层);同时,动能水平输送项(HKS),在台风转向北上之前,为负值($HKS<0$)。即在此时,西北太平洋区域为天气尺度动能源,有动能向外输出,这是导致动能减少的一个重要原因;在台风北上时期,主要表现为 $HKS>0$,即有能量向计算区域输入。进一步分析表明, HKS 最大值多出现在西风带对流层中上层,考查200hPa上天气尺度纬向风场的逐日变化(图4)发现, HKS 的变化与西风急流的位置关系密切。在台风转向北上之前,西风急流位于西北太平洋东部,造成动能向外输送;在台风北上时期,急流出现在西北太平洋西部。因此,夏季高层西风急流的变化,可以通过改变台风的大尺度环境流场来间接地影响台风路径。

表1 东亚—西北太平洋上面积平均和垂直积分的天气尺度动能平衡值(单位:W·m⁻²)

平衡项 时间(月. 日)		<i>DKS</i>	<i>HKS</i>	<i>VKS</i>	<i>GKS</i>	<i>IKS</i>	<i>RKS</i>
8211台风							
8. 4		-0. 26	-0. 27	-0. 08	0. 25	0. 11	-0. 29
8. 6		-0. 05	-0. 21	-0. 04	0. 44	0. 26	-0. 51
8. 8		0. 30	0. 27	-0. 08	0. 00	0. 08	0. 04
8. 10		0. 39	0. 16	-0. 11	0. 05	-0. 01	0. 31
8. 12		0. 94	-1. 10	-0. 09	1. 85	-0. 27	0. 56
8. 14		-0. 53	-0. 27	-0. 10	-0. 39	0. 43	-0. 19
注:8月7日转向							
8305台风							
平衡项 时间(月. 日)		<i>DKS</i>	<i>HKS</i>	<i>VKS</i>	<i>GKS</i>	<i>IKS</i>	<i>RKS</i>
8. 6		-0. 17	-0. 71	-0. 08	0. 65	-0. 87	0. 85
8. 8		-0. 50	-0. 46	-0. 13	0. 76	-0. 80	0. 12
8. 10		0. 05	-0. 45	-0. 12	1. 08	-0. 15	-0. 31
8. 12		0. 66	0. 17	-0. 11	0. 32	-0. 19	0. 46
8. 14		0. 40	0. 14	-0. 18	0. 58	0. 56	0. 41
8. 16		0. 01	0. 28	-0. 13	0. 56	-0. 03	-0. 67

注:8月8日转向

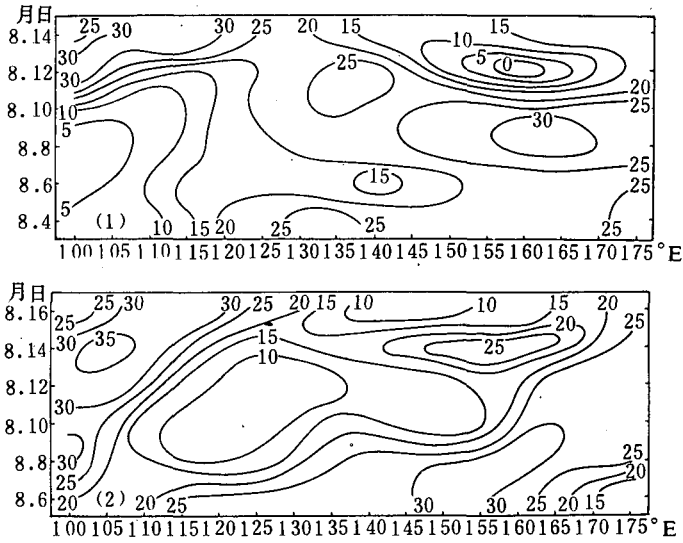


图4 沿45°N200hPa上的天气尺度纬向风速的逐日变化(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(1)和(2)分别表示8211台风和8305台风过程

天气与次天气尺度的相互作用项(IKS)在8211号台风过程中不是主要的能量平衡项,但在8305号台风中,特别是北上之前,非线性相互作用项(IKS)几乎成了最主要的天气尺度动能汇($IKS < 0$),这种差别与台风的强度和尺度有关。比较而言,8305号台风的强度和尺度均明显大于8211号台风。由于8305号台风对其大尺度环境场有显著的反馈作用,使得我们更加难以用大尺度流场来预报台风路径,这是8305号台风路径异常的另一个前期特征,有别于8211号台风。

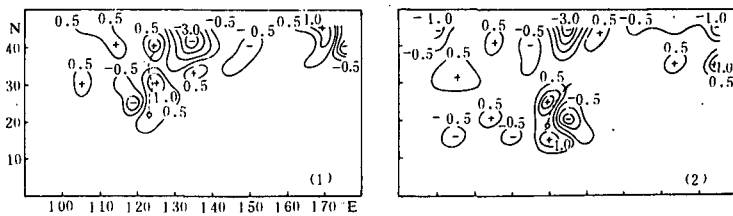


图5 东亚—西北太平洋500hPa上的次天气尺度动能制造(单位: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

(1)和(2)分别表示1982年8月8日和1983年8月10日

在次天气尺度的动能平衡中,动能制造项数值最大,是一个主要的平衡项。特别是动能制造的水平分布与台风移向有比较一致的关系,几乎在8211和8305号台风异常北上的整个过程中,台风都是向着动能制造项(GKS)正值区的伸展方向移动的(如图5所示)。即是向着有利于台风动能维持和加强的方向移动的。这反映了次天气尺度环境场影响疑难台风路径的另一个重要形式。

五、结 论

1. 台风异常北上时期, 500hPa 层上的天气尺度环境流场较弱, 表现为副热带高压减弱, 位置偏东。同时, 次天气尺度扰动较强, 台风有向着扰动中心传播方向移动的趋势。这可能是导致台风路径异常的一个重要过程。

2. 西北太平洋高空西风急流的位置变化, 可以通过改变台风环境场来间接地影响台风路径。在次天气尺度场上, 台风表现出向着正值动能制造区的伸展方向移动。

3. 相对 8211 号台风而言, 8305 号台风的强度和尺度较大, 对大尺度环境流场的反馈作用也较大, 使得在异常北上前的天气尺度动能减小, 这可能是大而强的台风路径发生异常的一个特征。

参 考 文 献

- [1] 陈受钧, 谢 安, 次天气尺度与天气尺度系统间动能交换的诊断分析, 气象学报, 39, 408—405, 1981。
[2] 丁一汇, 胡 坚, 王志烈, 北半球长波对西北太平洋台风路径的影响, 3, 3, A. M. S., 1989。

THE CHARACTERISTICS OF SYNOPTIC AND SUBSYNOPTIC SCALE ENVIRONMENTAL FIELD IN THE PERIOD OF TYPHOON UNUSUAL NORTHWARD MOVEMENT

Hu Jian Fei Liang

(Shanghai Typhoon Institute)

Abstract

A spatial filter is used to separate the typhoon environmental flow into a synoptic and a sub-synopticscale components. Two unusual typhoon paths (Cecil (1982) and Abby (1983)) traveling towards north are diagnosed. The results show that the anomalous path occurs in the period of synopticscale circulation adjustment from the 500 hPa height field. This kind of typhoons has a tendency moving along the propagation direction of subsynoptic scale disturbance center when the typhoon travels unusually northwards. This is an interesting process, which may be responsible for the unusual typhoon path when the synoptic scale circulation is evidently weak. In light of kinetic energy field, typhoon movement is in accordance with the extending direction of the positive area of GKE (the generation of subsynoptic scale kinetic energy) during this period.