

爆发性发展台风合成环境场的诊断分析

寿绍文 姚秀萍*

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

本文应用合成分析方法对5个台风的平缓演变阶段和爆发性发展阶段的环境场作了对比分析。结果表明, 在台风爆发性发展时, 副热带高压及其反气旋环流增强, 台风东部低层风速加大, 高空有东风扰动叠加, 低空辐合和高层辐散增强, 低层水汽能量辐合及台风外圈对流性不稳定性增大, 低空垂直环流发展。以上因子导致积云对流发展。在弱垂直切变环境下, 通过第二类条件性不稳定(CISK)机制, 使台风中心气压急剧下降, 气旋性环流显著增强, 从而导致台风的爆发性发展。这说明台风爆发性发展是大尺度环流和积云对流相互作用的结果。

关键词: 台风; 爆发性发展; 合成分析。

一、前 言

台风的强度演变通常是平缓的, 但有时则会突然增强。一般把在24小时内台风中心气压下降40 hPa或以上称为台风的爆发性发展。台风的爆发性发展容易造成预报失误, 影响往往很大。特别是在近海地区, 台风的爆发性发展常常引起突发的严重灾害。因此关于台风爆发性发展成因的研究已成为近年来人们关注的问题之一^[1]。本文的目的是试图通过合成分析和对比分析的方法来探讨造成台风爆发性发展的原因和机制。

二、资料和方法

合成分析方法早就广泛应用于热带气旋的研究中^[2]。本文中参与合成的有5个台风。这5个台风都有一个显著的爆发性发展阶段, 而且在爆发性发展前都处在平缓演变状态。表1分别列出了5个台风在爆发性发展时刻和该时刻以前24小时的基本情况。由表1可见, 这5个台风都在台湾东南方洋面, 即15.4°—21.4°N和123.2°—127.6°E的区域内爆发性发展。爆发性发展时, 中心气压在912 hPa至928 hPa之间, 中心24小时变压最低为-40 hPa, 最高达-83 hPa。与之相对照, 在台风爆发性发展前24小时, 台风中心气压都高于966 hPa, 而中心24小时变压则小于-26 hPa, 说明其强度演变比较平缓。

将表1中5个台风的爆发性发展时刻与5个爆发前24小时的时刻分别进行合成,

1992年12月9日收到, 1993年6月30日收到再改稿。

* 现工作单位: 福建省气象局。

表 1 参与合成的 5 个台风在其爆发性发展时刻(用 * 号表示)和爆发前 24 小时的基本情况一览表

台风编号	时间				中心位置		中心气压 (hPa)	中心 24 小时 变压(hPa)
	年	月	日	时	纬度(°N)	经度(°E)		
8009	1980	7	23	20	14.5	125.8	975	-25
	* 1980	7	24	20	15.4	124.5	912	-63
8015	1980	9	16	20	19.3	126.0	966	-26
	* 1980	9	17	20	20.8	123.2	920	-46
8211	1982	8	7	08	20.9	124.1	971	-21
	* 1982	8	8	08	21.4	123.4	924	-47
8304	1983	7	22	20	17.0	130.0	995	-14
	* 1983	7	23	20	18.1	127.6	912	-83
8309	1983	9	5	08	15.1	128.0	968	-17
	* 1983	9	6	08	17.8	124.0	928	-40

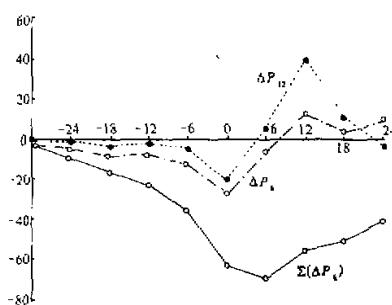


图 1 由表 1 中 5 个台风构成的合成台风的中心气压及变压随时间的演变曲线
+6 时中心气压最低(917.4hPa), -36 时的中心气压为 986hPa。横坐标 0 表示台风爆发性发展时刻, 负、正数分别表示爆发前、后时数

并分别代表台风爆发性发展阶段和平缓演变阶段的情况。图 1 表示合成台风的中心平均气压及平均变压随时间的演变曲线。在台风爆发前 24 小时前后台风中心的 6 小时变压和 12 小时变压几乎为常数, 中心气压则呈线性缓慢下降。这种趋势一直持续到台风爆发前 6 小时。然后, 到台风爆发性发展时刻(图 1 横坐标上的零点), 台风中心变压突然增大, 并出现最大值。同时中心气压则迅速下降, 6 小时后继续下降, 并出现气压最低值。由此可见, 平缓演变阶段延续时间很长, 而爆发性发展阶段时间很短。这两个阶段有很明显的差异。

在进行台风合成场分析时, 所采用的合成坐标以台风中心为坐标原点, x 和 y 轴分

别为纬向和经向。客观分析采用高斯权重插值方案^[3], 水平格距 100km, 垂直方向分 10 层, 间隔 100hPa。为了表现台风的暖心结构, 我们把台风中心处 1000、900、850、700hPa 上的温度记录(根据《台风年鉴》)也放入温度场的客观分析之中。

三、台风爆发前后合成场的演变

1. 高度场和流场

台风爆发性发展(以下简称“台风爆发”)时和其前期的平缓演变(以下简称“爆发前”)相比, 各等压面高度场均有显著变化, 不仅台风本身, 而且台风周围的天气系统都有明显变化。其中最突出的变化是在台风中心东北侧的副热带高压发生了明显的西进和增强(以 700hPa 为例, 见图 2)。

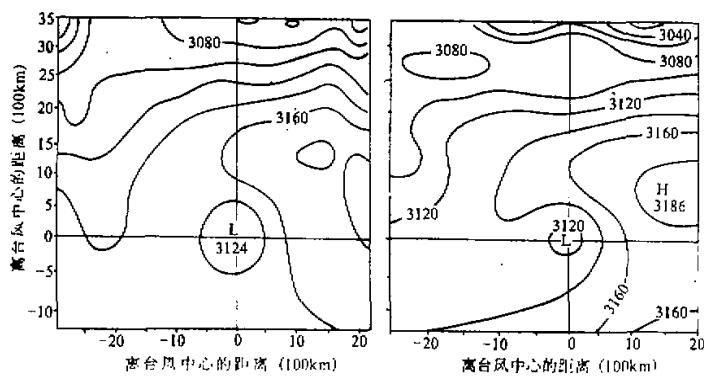


图 2 台风附近的 700hPa 高度场

左: 爆发前, 右: 爆发时

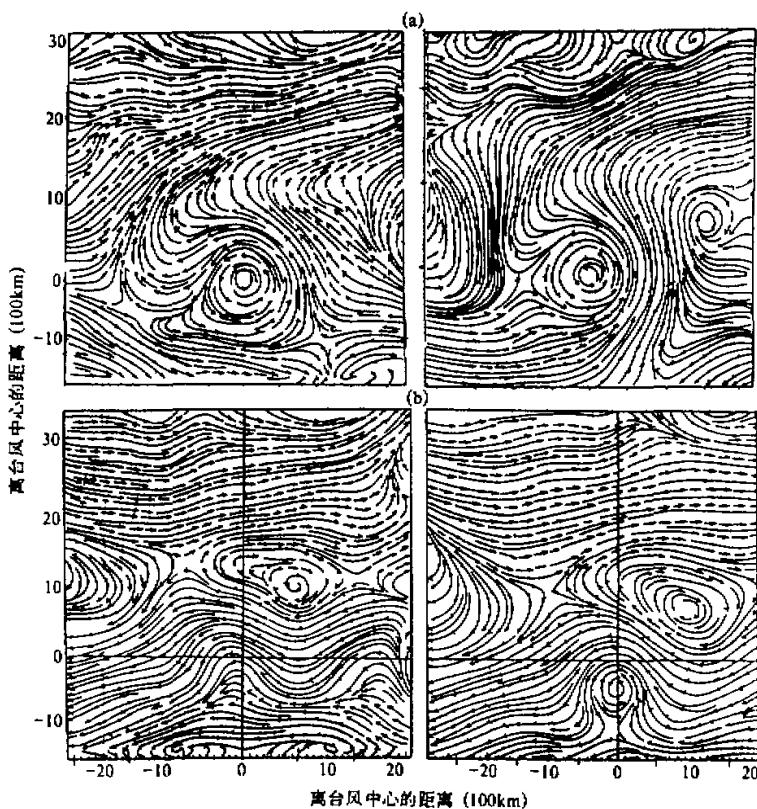


图 3 台风附近的流场

(a) 500 hPa, (b) 200 hPa; 左: 爆发前, 右: 爆发时

在流场上变化也很明显，从 850hPa 到 500hPa 各层，副高的反气旋环流均显著增强，在台风中心的东北侧出现了一个闭合的反气旋中心。由于副高增强，台风东部的风速明显增大，台风内的风速呈现不对称分布。一条偏南风强风带呈半环形包围台风中心。在 200hPa 上，一个强的东风波扰动叠加在台风中心上空（图 3）。

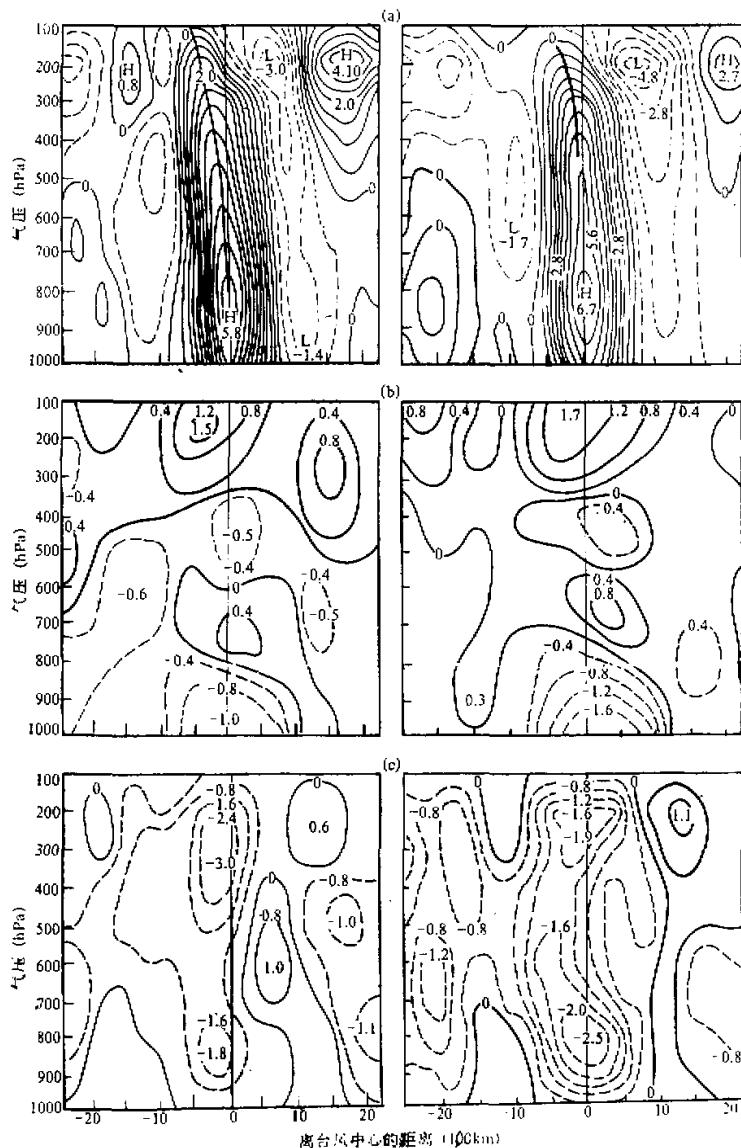


图 4 穿过台风中心的东西向垂直剖面

(a) 涡度 ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$); (b) 故度 ($\times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$); (c) 垂直速度 ($\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$); 左: 爆发前, 右: 爆发时

散度场和涡度场也有明显的变化。图4是穿过台风中心的东西向垂直剖面图。由图可见, 台风为一深厚的柱状正涡度区, 最大正涡度中心位于900—800hPa附近。台风爆发时比爆发前正涡度中心强度明显增强, 而且正涡度中心所在高度也略有提高。散度的垂直分布在台风爆发时和爆发前是相似的, 即低层为辐合, 高层为辐散, 中间则有弱的辐散和辐合的相间分布。但是爆发时和爆发前的散度强度有很大差别。在爆发时, 低层辐合和高层辐散都有显著增强。

垂直速度的垂直分布与散度的垂直分布是相配合的。由于在台风区高层辐散、低层辐合, 所以整层都是上升运动。同时, 由于中间夹着较弱的辐合与辐散的间隔分布, 所以形成了高层和低层两个垂直上升运动中心。在台风爆发时, 台风区低层的上升运动范围扩大, 强度增大, 但上层的上升中心反而有所减弱。从散度和垂直速度的综合分析可见, 台风低层和高层分别有两个垂直环流圈。台风爆发时, 高层环流圈减弱, 而低层环流圈加强, 后者十分有利于CISK机制的形成和发展。

2. 湿温场

由穿过台风中心的东西向垂直剖面图(图5)可见, 台风内部是一个假相当位温(θ_{se})的高值区, 台风两侧为 θ_{se} 低值区。台风外围低层 $\partial\theta_{se}/\partial z < 0$, 气层是对流性不稳定的。台风爆发时, 台风区低层的等 θ_{se} 线向上凸起, 表明低空明显增暖增湿。台风两侧的 θ_{se} 小值区向台风中心靠拢。这样便使台风附近地区低层的位势不稳定性显著增大。

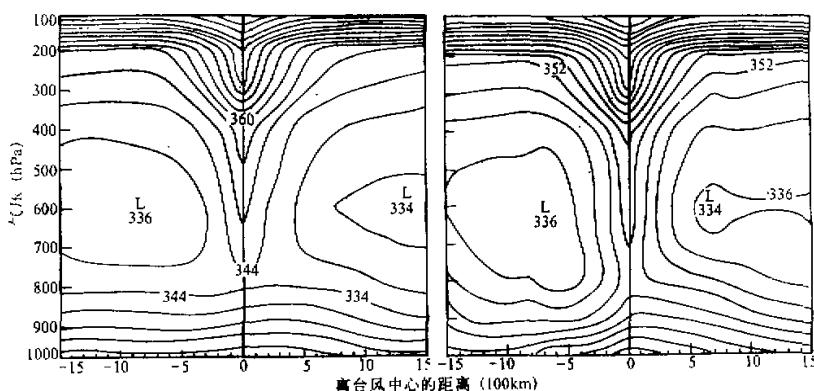


图5 穿过台风中心的东西向剖面上的假相当位温(θ_{se} , 单位: K)分布
左: 爆发前, 右: 爆发时

湿度场分析表明, 台风附近的湿度分布明显不均匀。北部为相对干区, 南部为相对湿区。在800hPa水汽通量分布图上, 台风东侧为强的水汽通量带。水汽通量带的轴线与强风速带轴线基本一致。台风爆发时, 台风东侧的水汽通量强度明显增大。水汽通量散度的分布图表明, 在台风附近是水汽通量辐合中心。台风爆发时, 台风附近水汽通量辐合的量值明显增大。

3. 风速垂直切变和 CISK 指数的分布

风速垂直切变(用 200hPa 和 850hPa 的西风量值差 $\Delta u = u_{200} - u_{850}$ 表示)的分布图表明, 在台风中心以北为 Δu 正值区, 以南为负值区, 而台风中心附近 Δu 很小, Δu 的零线就在台风中心附近通过。台风中心附近上空风速垂直切变较小, 有利于台风高层增暖, 因而有利于第二类条件性不稳定(CISK)机制发生作用。我们用一个无因次参数 I_{CISK} 来表示积云对流对台风发生发展的贡献。 I_{CISK} 可定义为^[4]

$$I_{\text{CISK}} = \frac{\Delta F}{\Delta H} W_E \cdot T,$$

其中 W_E 为摩擦层顶的垂直速度, 作为近似, 我们以 850hPa 的垂直速度代表 W_E 。 ΔF 为 850hPa 与 300hPa 的相对湿度之差, ΔH 取为 7500m, T 为单位时间。 I_{CISK} 的量值表示为在单位时间(1 小时)内, 积云对流尺度运动对台风尺度扰动发展的贡献大小。 I_{CISK} 正值表示第二类条件性不稳定。由图 6 可见, 在台风爆发性发展时, I_{CISK} 正值中心的量值达 +3.35, 比台风爆发前的量值(+2.78)明显增大。这说明, 积云对流的发展对台风的爆发性发展有重要贡献。

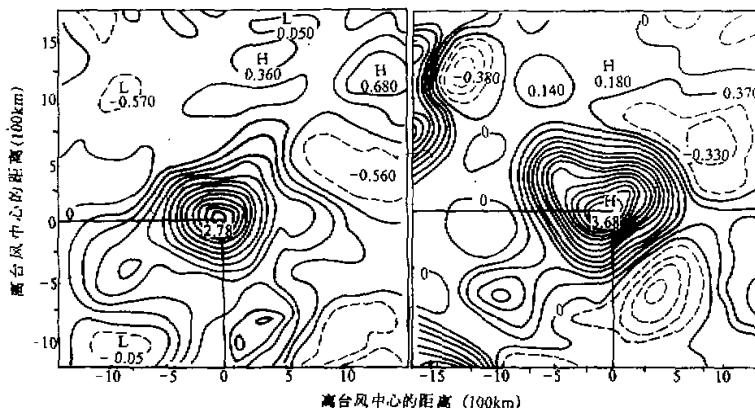


图 6 台风附近的 CISK 指数 I_{CISK} 分布图
左: 爆发前, 右: 爆发时

四、结论及讨论

以上我们对 5 个台风及其环境场进行了合成分析。通过对台风爆发性发展时刻和爆发性发展前平缓演变阶段的诊断场的对比表明, 两个阶段有十分显著的区别。从平缓演变阶段到爆发性发展阶段, 台风及其环境场最突出的变化有: 副高及其反气旋环流突然增强、台风外围不对称风场加强、台风东部及西南部中低层急流发展、高层东风扰动加强、低层辐合和高层辐散加强、水汽通量辐合增强、环境对流性不稳定度增大、CISK

指数增大等等。在这些因子中，积云对流的发展对台风爆发可能起了最直接的作用。而环境场与积云对流之间则有着非常密切的相互作用，因此对台风的爆发性发展也有着十分重要的作用。环境场和积云对流相互作用促进台风爆发性发展的过程可能是这样的：首先是副高脊加强西伸，造成反气旋环流加强，台风东部风速加大，水汽通量加大。同时高层东风扰动增强，高空辐散和低空辐合(以及水汽通量辐合)增强，使上升运动加强，低层对流性不稳定加强，因此造成积云对流强烈发展。由于处在弱垂直切变环境中，有利于CISK机制发展。因而积云对流与台风环流便相互促进，从而导致台风的爆发性发展。由此可见，台风的爆发性发展是大、中尺度相互作用的结果。

参 考 文 献

- [1] 张 铭、曾庆存，1983，台风爆发性发展的数值模拟实验，台风会议文集，101—106，上海科学技术出版社。
- [2] Gray, W.M., 1981, Recent advance in tropical cyclone research from rawinsonde composition analysis, Dept. Atmos. Sci., Colorado State University.
- [3] 寿绍文、励申申、王 信，1990，暴雨低涡结构、成因及移动的初步探讨，南京气象学院学报，13, No.4, 535—539。
- [4] 王继志，1985，东亚及太平洋上空热带环流的三维特征结构与台风活动，台风会议文集，334—342，气象出版社。

A Diagnostic Study of the Composite Ambient Fields of the Explosively Developing Typhoons

Shou Shaowen and Yao Xuping

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

The ambient fields in the smooth evolution stage are compared with the explosively developing stage of the composite typhoon composed by 5 typhoons. The results show that in the explosively developing stage, the sub-tropical high and its anti-cyclone circulation are intensified. The low level wind to the east of typhoon increases. The upper air easterly wind disturbance overlays on the typhoon. The low level convergence and high level divergence, and the low level moisture flux convergence, the low level vertical circulation and the convective instability in the ambient field of typhoon are all intensified significantly. The above factors result in cumulus convection development. In the weak vertical shear environment, the conditional instability of the second kind (CISK) mechanism causes the rapid decrease of pressure in typhoon center and significant increase of the cyclonic circulation, so that the explosively developing typhoon may result from the interaction between the large-scale motion and cumulus convections.

Key words: typhoon; explosive development; composite analysis.