

爆发性与非爆发性海洋温带气旋

仪清菊

陈文玉

魏进武

(中国气象科学研究院) (海司气象室) (中国气象科学研究院)

提 要

本文选取分别代表爆发性发展(1983年3月)和非爆发性发展(1982年3月)的两个海洋温带气旋个例,对它们进行了比较研究。结果表明,无论是在基本要素场,还是诊断出的物理量场,两者都表现出明显的差异。其中,涡度、位势涡度、扰动动能和总动能之间的差别更大。在爆发阶段,前3项的增加量爆发性气旋是非爆发性气旋的2—4倍,而总动能的增大值两者悬殊更大,比值为13.6:1。

一、引 言

在地面天气图上,我们规定至少有1条闭合等压线出现,并持续24小时以上的温带低值扰动称为温带气旋*。根据这一定义,对1973—1988年间,我国东部和沿海地区(主要指江淮、黄淮、渤海、黄海和东海地区)的温带气旋的发生进行了考察,并按照Sanders(1)所定义的爆发性气旋的标准,即:1个贝吉龙 $= 24\text{hPa}/24\text{h} \times \sin\varphi/\sin 60^\circ$,其中 φ 是气旋中心所在的纬度,对这些温带气旋的发展情况进行再分析,对于中心气压下降值达到 ≥ 1 个贝吉龙的温带气旋称为爆发性发展气旋,而中心气压虽有下降

但强度 < 1 个贝吉龙的温带气旋算做非爆发性或一般性发展气旋,统计结果列于表1。从表中可以看出,我国东部和沿海地区每年有几十个温带气旋产生,但能达到爆发性发展的温带气旋只有一小部分,对这些爆发性气旋的气候学特征我们已另文讨论〔2〕。但大部分温带气旋在东移的过程中未能获得爆发性发展,本文称为非爆发性发展类。到目前为止,国内外有关爆发性气旋的研究已不少见〔1—5〕,但对非爆发性发展气旋的分析研究工作尚没见到,也需要我们做一些工作,将会有助于从另一个角度对爆发性气旋的进一步了解。本文试图用比较的方法对它们进行探讨。

表 1 爆发性气旋与非爆发性气旋的发生频数

类 别	频 数	年 份																
		1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	合计
爆发性气旋		11	7	12	15	8	12	17	8	12	5	15	14	6	12	3	7	174
非爆发性气旋		59	49	52	55	50	42	47	64	40	61	55	62	60	40	51	53	840

二、个例选取和使用的资料

我们选取了1983年3月16—18日的海洋

气旋过程为爆发性发展个例。该气旋24小时的最大加深率为 35hPa ,出现在 16°E — 17°E ,达到了2.0个贝吉龙单位的强气旋程度;选取1982年3月15—17日的气旋过程为一般性

* 温带气旋资料是由本课题组提供的。

发展个例(即非爆发性发展),此气旋24小时内的最大加深率为10hPa,相当于0.6个贝吉龙单位。这两个气旋均产生于我国东部沿海地区,最后消失在西太平洋洋面上,近于在同一个季节里。

本文所用的资料均是欧洲中心未初始化的客观分析资料,网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (经度 $\times$ 纬度),层次为7层(即1000,850,700,500,300,200,100hPa)。

三、基本场垂直结构的比较

根据1983年3月爆发个例和1982年3月非爆发个例地面中心气压变化的趋势,分别定3月16日为初生期,17日为爆发性发展期,18日为成熟期;而1982年3月非爆发个例的初生期是15日,发展期为16日,17日为成熟期。下面着重对前两个阶段即初生期和爆发(或发展)期的差别进行探讨。

为揭示气旋内相对于周围环境场的垂直结构特征,我们计算了通过气旋中心的温度场的偏差分布。偏差值的求取如文献[6]所述。先计算通过气旋中心的经度线上各纬度温度的纬向平均值(本文取 $120^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$),然后再用该经度线上各纬度点的温度值减去纬向平均的温度值,即得到温度场的偏差值。比较爆发个例与非爆发个例初生期、爆发(或发展)期和成熟期3个发展阶段温度偏差的垂直分布可知,在初期阶段两个例的差别较明显(见图1)。从图1a可以看出,爆发例300—500hPa气层内的空气较周围明显偏冷,300hPa以上和500hPa以下为正值,表明那儿的空气较四周是偏暖的。不难发现,在300hPa以下气层是属于上冷下暖的温度层结,也就是说属于不稳定的大气层结。而1982年3月的非爆发例(图1b),300—500hPa间的较冷空气所占的范围比爆发例小得多,在对流层内上冷下暖的不稳定层结对非爆发个例而言,是限制在一个小的局部区域。而爆发个例则在一个很大的范围内空

气层结构均属于不稳定型。另外,从图1中还可以看出,爆发性气旋中心处于偏冷和偏暖气团的过渡区内,温度梯度较大,而非爆发性气旋中心仅处于偏暖的气层内。我们又计算了两个例的温度平流($-\vec{V} \cdot \nabla T$)值(见

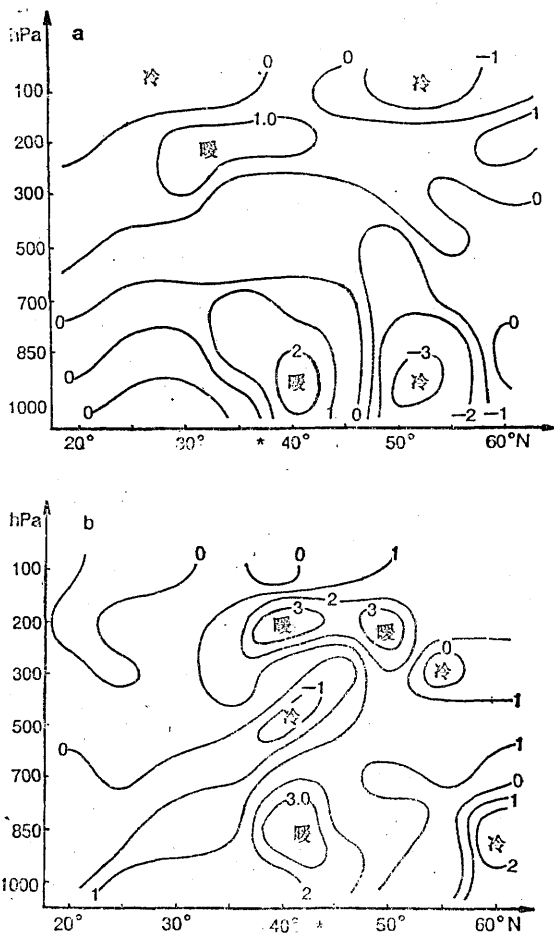


图1 温度偏差值的垂直分布(图中*表示气旋中心位置, a. 1983年3月16日, b. 1982年3月15日, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

图2)。从图2中可以看出,在气旋中心位置的上空,两者温度平流的垂直分布是很不相同的,爆发个例主要由暖平流($-\vec{V} \cdot \nabla T > 0$)控制,而非爆发个例基本上是在冷平流的控制下,特别是在对流层的中下层更显著。这表明,初生期不稳定的大气层结和暖的温度平流对海洋温带气旋的爆发性发展的作用是很明显的,与文献[4]的诊断结果也是

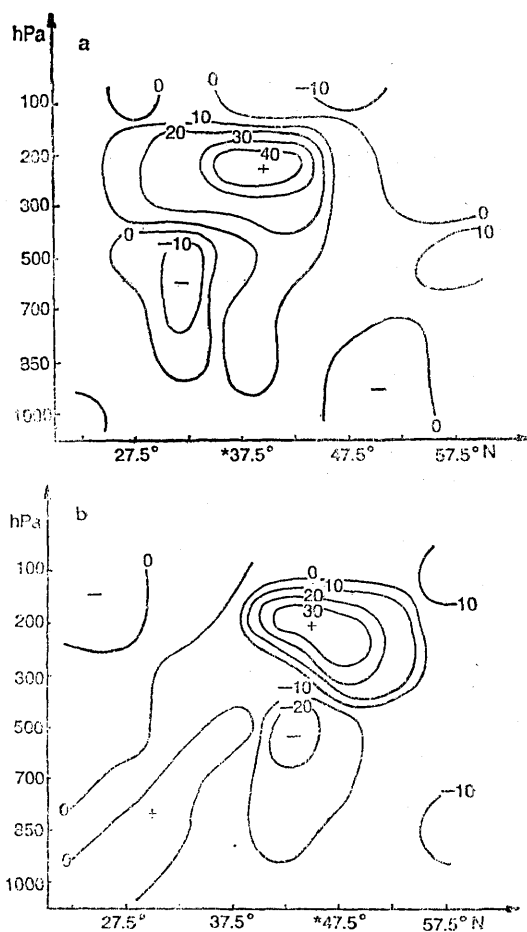


图2 温度平流 ($-\vec{V} \cdot \nabla T$) 的垂直分布 (*为气旋中心位置, a. 1983年3月16日, b. 1982年3月15日, 单位: $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)

一致的。

另外, 我们也求取了它们的气压场的偏差垂直分布, 爆发个例与非爆发个例的差异在初期阶段较明显, 主要表现为, 在高层(300hPa以上)爆发性气旋内的气柱较四周比非爆发性气旋的明显偏高(图略), 不难理解这对于高空辐散场的形成和加强是很有利的。

四、其它物理量的比较

1. 涡度、散度、垂直运动场

对爆发个例和非爆发个例的初期、爆发(或发展)期及成熟期3个阶段的区域平均的涡度、散度和垂直上升运动进行了计算。比较分析表明, 两个例的差异比较明显, 特别是涡度场。表2给出了两个例涡度场的比较值。从表中可以看出, 非爆发个例在初期除1000hPa外, 其余各层都是正涡度值, 到了发展期各层的正涡度也都表现出明显的加强, 因此24小时的涡度变化各层也都是正值($\Delta\zeta/24\text{h}$); 而爆发性气旋, 初期除1000hPa和850hPa两层为正的涡度外, 其余各层皆是很明显的负涡度值, 因而整层积分值爆发例为-7.2单位, 非爆发例为9.72单位, 后者的正涡度值明显偏大。但到了爆发期, 爆发性气旋的正涡度各层都有很大的增加, 几乎平均超过了非爆发性气旋发展期各层的值。

表2 初期和爆发期(或发展期)两个例的涡度值(单位: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)

类别	气压(hPa)	1000	850	700	500	300	200	100	积分值
	种类								
爆发	初期	0.72	0.51	-0.16	-1.12	-1.90	-2.88	-2.37	-7.2
	爆发期	2.97	3.23	3.64	4.27	5.03	4.63	1.63	24.47
	$\Delta\zeta/24\text{h}$	1.35	2.72	3.80	5.39	6.93	7.51	3.97	31.67
非爆发	初期	1.02	2.27	1.85	1.57	1.67	1.53	-0.19	9.72
	发展期	2.09	2.69	2.42	3.18	4.72	3.61	0.61	19.33
	$\Delta\zeta/24\text{h}$	1.07	0.42	0.57	1.61	3.06	2.08	0.80	9.61

24小时的涡度改变($\Delta\zeta/24\text{h}$)爆发性气旋的远远大于非爆发气旋, 它们的积分值分别

是31.67单位和9.61单位, 爆发例是非爆发例的3.3倍。

散度和垂直运动场的差异并不象涡度场那样明显。初期,非爆发个例气旋低层辐合、高层辐散的形势较弱,到了发展阶段变化也不大(图略),但爆发性气旋,从初期到爆发期低层辐合、高层辐散明显加强,特别是高层辐散加强较明显(图略)。

垂直上升运动场两例的对比表明,非爆发例初期的垂直上升运动并不弱,但到了发展阶段,各层的垂直上升运动没有明显增大,反而是减弱的。表3是初期到发展期和初期到爆发期两例的垂直速度的24小时变化

表 3 $\nabla\omega/24h$ 的对比值
(单位: $10^{-3}\cdot hPa\cdot s^{-1}$)

类 型	850	700	500	300	200	积分值
爆 发	-0.03	-0.05	-0.27	-0.34	-0.16	-0.85
非爆发	0.13	0.21	0.35	0.36	0.19	1.24

值。从表中可以看出,非爆发个例各层的值均是正值,表明该气旋在发展阶段的垂直上升运动比初期是减弱的;而爆发个例各层均为负值,揭示了爆发个例的垂直上升运动在爆发阶段是加强的。

2. 位势涡度场的比较

在P坐标下,位势涡度的表达式可以写成如下形式:

$$PV = (\xi + \xi_0) \frac{\partial \theta}{\partial P}$$

$$= \left\{ \xi + \frac{1}{a \cos \varphi} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{\partial}{\partial \varphi} (u \cos \varphi) \right] \right\} \frac{\partial \theta}{\partial P}$$

根据上式,计算了它们的区域平均值。对比表明,差异也是明显存在的,特别是在爆发阶段和发展阶段位势涡度的增加方面。表4给出了两类气旋例子的位势涡度的增加值。从表中可以看出,爆发个例各层的值均比非爆发个例偏大,尤其是500hPa以上更显著。它们的积分值分别是13.62单位和3.42单位,可以看出爆发个例是非爆发个例的4倍。

表 4 两个例PV/24h值的比较表
(单位: $10^{-7}k\cdot m\cdot s\cdot kg^{-1}$)

类别	1000	850	700	500	300	200	100	积分值
爆发	-0.09	0.10	0.29	0.86	2.36	5.49	4.61	13.62
非爆发	-0.17	-0.12	0.02	0.21	0.98	1.72	0.77	3.42

3. 扰动动能和总动能的比较

我们进一步对两类个例的总动能(即 $K = (u^2 + v^2)/2$)和扰动动能(即 $K' = (u^{*2} + v^{*2})/2$)的情况进行了讨论。其中*是表示对区域平均的偏差。表5是总动能的计算结果,表中值均是气旋区域的平均值。从表中可以发现,初期,爆发个例各层的总动能值较一般气旋是偏大的,但两者相差并不算很大。从整层的积分值来看,两例之差为4.02个单位。但从初期到发展期,非爆发个例的总动能虽有所增加,但量较小,整个气柱的积分值才达1.55个单位;而爆发性气旋从初期到爆发时期各层的总动能均有明显的加强,整层积分值为21.02个单位,是非爆发性气旋的13.6倍。可以看出,处在爆发性发展阶段的海洋气旋总动能的增加是相当剧烈的。

表 5 总动能 (K) 的比较
(单位: $10^5 J\cdot m^{-2}$)

类型	时 期	1000	850	700	500	300	200	100
		850	700	500	300	200	100	1000
爆 发	初 期	1.07	2.19	6.51	15.50	13.20	11.60	50.07
	爆发期	2.56	4.43	11.20	23.50	16.40	13.00	71.09
	$\Delta k/24h$	1.49	2.24	4.69	8.00	3.20	1.40	21.02
非爆发	初 期	0.09	1.76	5.00	14.30	12.90	12.00	46.05
	发展期	1.78	2.97	7.17	14.70	11.30	9.74	47.60
	$\Delta k/24h$	0.88	1.21	2.17	0.40	-1.60	-2.26	1.55

下面我们再来考察一下扰动动能 $[K' = (u^{*2} + v^{*2})/2]$ 的结果(见表6)。从中可以看出,初期两类个例扰动动能的量级相差不大,它们的积分值之差仅为0.78单位,可以说比较接近。到了进一步发展阶段,差别增大。爆发性气旋整个气层

(1000hPa—100hPa) 的增加量为12.25个单位, 而非爆发性气旋的增加总值为5.83个单位, 爆发性气旋的扰动动能的增加量是非爆发性个例的2倍还多。

表 6 扰动动能的比较表 (单位: $10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$)

类 型	时 期	1000	850	700	500	300	200	100
		850	700	500	300	200	100	1000
爆 发	初 期	0.72	0.83	1.27	2.01	1.63	1.53	7.99
	爆发期	1.75	2.47	2.66	7.58	3.91	1.87	20.24
	$\Delta K' / 24\text{h}$	1.03	1.64	1.39	5.57	2.28	0.34	12.25
非 爆 发	初 期	0.71	0.91	1.08	1.99	1.54	0.98	7.21
	发展期	1.32	1.58	2.67	4.21	2.23	1.03	13.04
	$\Delta K' / 24\text{h}$	0.61	0.67	1.59	2.22	0.69	0.05	5.83

五、主要结果

通过对1983年3月爆发性气旋个例与1982年3月非爆发性气旋个例的比较研究, 我们可以得到如下几点结论:

(1) 温度场的垂直分布的比较表明, 初期两类个例就存在着明显的不同, 主要表现为在对流层内, 爆发性气旋个例在比较大的水平范围内都呈现出上冷下暖的不稳定的大气层结, 气旋中心处于较强的温度梯度区; 而非爆发性个例的大气层结是在局部地区内属于不稳定的, 气旋中心处于较弱的温度梯度区。温度平流 ($-\vec{V} \cdot \nabla T$) 两类个例在初期的差异亦很清楚, 在对流层中下层, 爆发个例为明显的暖平流控制, 而非爆发性个例主要是冷平流支配着, 这些现象揭示了不稳定的大气层结和暖的温度平流对海洋温带气旋的爆发性发展有明显的作用。

(2) 涡度、散度和垂直上升运动场的对比分析表现出, 初期两类个例的差异并不大, 到了爆发期(或发展期)两个例的差异才变得比较显著, 特别是涡度场的差别较突出, 涡度的增加量爆发性气旋是非爆发性气旋的3.3倍。

(3) 爆发性气旋与非爆发性气旋的位势涡度(PV)的对照分析表明, 也是在爆发阶段(或发展阶段)两例的差别最明显。初期到爆发期(或发展期), 爆发性气旋位势涡度的增加量是非爆发性气旋的由初期到发展期增加量的4倍之多。

(4) 扰动动能(K')和总动能(K)的对比分析表明, 初期两者的差异也不太明显, 只是在发展和爆发阶段差距增大。在爆发期, 爆发性气旋扰动动能的增加值是非爆发性气旋发展期增加量的2倍之多; 而总动能的增加量前者是后者的13.6倍。

参 考 文 献

- [1] Sanders, F., and J. R. Gyakum, 1980, Synoptic-dynamic climatology of the "Bomb", Mon. Wea. Rev., 108, 1583—1606.
- [2] 仪清菊, 丁一汇, 海洋爆发性温带气旋的气候学, 大气科学(待发表)。
- [3] Rogers, E., and L. F. Bosart, 1986, An investigation of explosively deepening oceanic cyclones, Mon. Wea. Rev., 114, 702—718.
- [4] 李长青, 丁一汇, 西北太平洋爆发性气旋的诊断分析, 气象学报, Vol. 47, 180—190, 1989.
- [5] 仪清菊, 丁一汇, 东海地区海洋温带气旋的动力学分析, 气象学报(待发表)。
- [6] 南京大学、中山大学, 暴雨分析和预报(油印本), 1977.

Comparison and analysis of explosive and unexplosive development of marine extratropical cyclones

Yi Qingju Chen Wenyu Wei Jinwu

(Academy of Meteorological Science of China)

Abstract

In the paper, a rapidly deepening marine cyclone is compared with a not rapidly deepening one, the results show that the features of explosive case are evidently different from unexplosive one.