

加拿大东海岸冬季风暴的分析

仪清菊

(中国气象科学研究院,北京 100081)

陈文玉

R. E. Stewart

(海军司令部气象室)

(加拿大大气环境局)

提 要

利用加拿大大气环境局第二次冬季风暴观测(简称CASP II)的部分资料,对加拿大东海岸冬季风暴的发生、发展情况进行了分析。结果表明,大多数风暴能达到爆发性发展的程度,并对其中一个形成眼区的强风暴例子做了进一步讨论。

关键词: 冬季风暴 爆发性发展 诊断分析

前 言

强烈的冬季风暴常常影响加拿大东部沿岸地区,特别是当它处于爆发性发展阶段时,往往带来恶劣的灾害性天气。为此,加拿大大气环境局分别于1989年和1992年冬季在其东部地区组织了两次风暴观测试验。本文仅利用1992年试验期的观测资料,对风暴的活动特征进行了分析。并对其中一个具有眼状结构的强风暴个例做了较详细的研究,了解其爆发性发展的过程。

1 试验期间加拿大东海岸风暴的活动概况

定义至少有一条闭合等压线并持续24小时或以上的低压系统,作为一次风暴发生(在中国通常称其为温带气旋)。在1992年1—3月加拿大风暴试验期间,共有38个这样的风暴发生。按照爆发性发展的定义(即24小时中心气压下降达24hPa或以上),其中有17个达到了爆发性发展的强度(见表1),占总数的45%,即近一半的风暴能达到爆发性发展的程度。这些爆发性风暴主要发生在40°—50°N、40°—50°W区域内。它们的强度考查表明(表2),中等强度风暴居多。

表1 1992年1—3月加拿大东海岸爆发性风暴概况

序号	爆发性发展时刻	最大加深率(hPa)			纬度	贝吉龙*
		24h	12h	6h		
1	1月14日00时	27	20	12	38°N	1.7
2	16日18时	37	20	10	40°N	2.1
3	19日12时	32	26	18	54°N	1.6
4	20日06时	32	18	10	56°N	1.6
5	22日00时	25	13	0.8	45°N	1.3
6	27日06时	31	24	16	42°N	1.8
7	30日12时	17	0.9	0.7	36°N	1.0
8	31日18时	32	22	14	41°N	1.8
9	2月5日06时	21	13	10	43°N	1.1
10	11日18时	26	26	18	54°N	1.2
11	13日00时	31	17	12	54°N	1.5
12	16日06时	22	16	12	62°N	1.0
13	23日12时	30	22	12	56°N	1.4
14	24日18时	36	23	13	55°N	1.7
15	26日12时	35	20	12	40°N	2.0
16	3月1日00时	43	25	13	48°N	2.1
17	15日00时	29	20	12	48°N	1.6

* 贝吉龙为风暴强度变化单位 $1 \text{ 贝吉龙} = \frac{24hPa}{24h} (\sin\phi/\sin60^\circ)$

表2 爆发性风暴的强度

	强(>1.8*)	中等(1.3—1.8*)	弱(1.0—1.3*)
频数	3	10	4
百分比	18%	58%	23%

* 强度单位:贝吉龙

2 强爆发性风暴个例的研究

该试验观测期间捕捉到一强爆发性风暴例子,该风暴 24 小时中心气压下降 43hPa,强度为 2.1 贝吉龙(见表 1),中心最低气压达 930hPa。一系列的云图分析表明,该风暴

的发生、发展是由 3 种云系即斜压云系、涡旋逗点云系和变形云系^[1]相互作用的结果,最后演变成一个完整的逗点状云系,并形成了一个明显的眼区(图 1)。像这类具有眼区的爆发性风暴例子是不多见的。

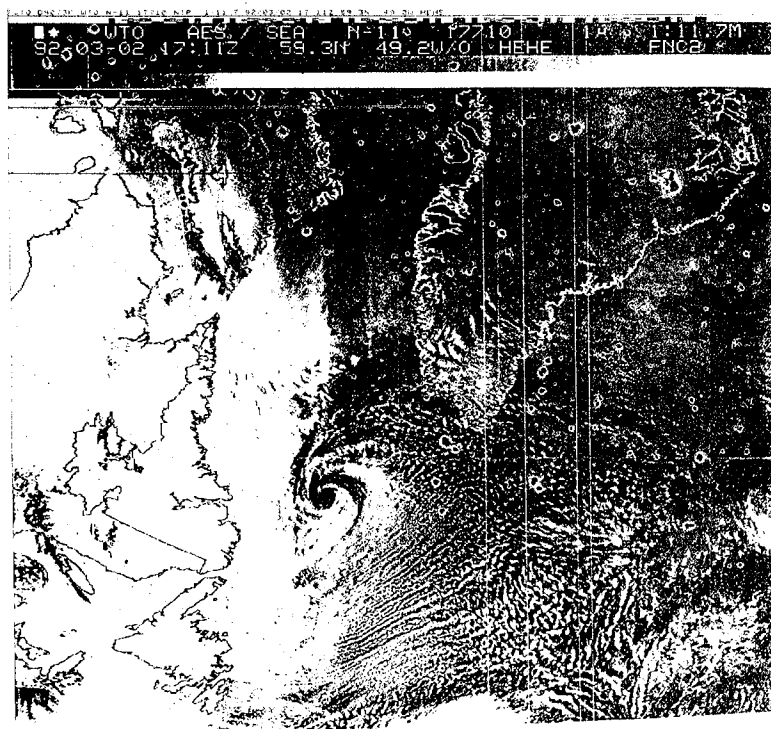


图1 1992年3月2日17时11分云图

天气图分析表明,该风暴爆发性发展阶段出现在 3 月 1 日 00 时—2 日 00 时(世界时,下同)。其眼区形成于爆发性发展之后,即成熟阶段。

3 高、低空急流的分析

观测区设有 2 部雷达,一部为多卜勒雷达,该雷达观测资料的分析表明,在风暴爆发性发展前夕,风暴所在区域有一支明显的强气流,最大径向风速度为 $38.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,这支强气流距多卜勒雷达 11km,测得仰角为 7° ,由 $h=s \cdot \tan \alpha$ 可知这一强风速区在 1.4km 高度,表明风暴发展阶段低空西南急流是明显存在的。一系列的多卜勒径向风速表明,这支

低空急流随风暴的发展而加强,在风暴爆发性发展开始时刻,低空急流的最大径向速度为 $48\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,较前期增强了 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对照天气图可知,这支低空急流将暖、湿空气输送到风暴区域,为风暴的爆发性发展提供了有利的环境。

高空形势表明,风暴爆发时恰位于高空急流出口区左侧(见图 2)。这与其它爆发性温带气旋发展的条件是一致的^[2]。

4 风暴的结构特征

爆发阶段不同时刻涡度的分布表明(表略),风暴区域平均的涡度变化伴随着风暴的发展而加强,其垂直分布表明,在对流层中下

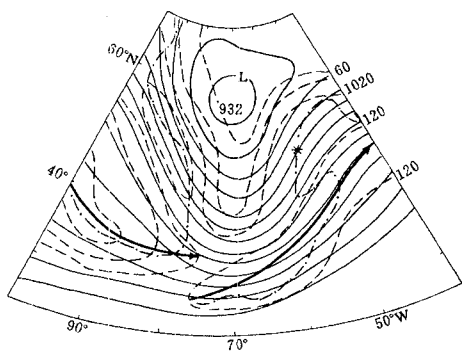


图2 1992年3月1日00时250hPa形势
粗实线为急流轴,*为风暴中心,虚线为
等风速线

层最大。

风暴中散度场的分布可知(表3),对流层低层(700hPa以下)为辐合,而中上层是辐散层,最大的辐散中心在250hPa上。对照图2的形势不难看出,高空急流所产生的强辐散为风暴的爆发性发展提供了重要的条件。

表3 散度场的垂直分布 单位: $10^{-6} \cdot s^{-1}$

高度 /hPa	3月1日				3月2日
	00时	06时	12时	18时	00时
1000	-17	-14	-15	-13	-10
850	-11	-9	-11	-11	-10
700	-4	-7	-5	-2	-1
500	5	3	3	3	2
400	9	4	10	6	5
300	10	12	12	7	5
250	11	19	14	8	10
200	8	12	9	6	5
150	7	6	7	5	4
100	1	3	4	5	3
70	2	1	3	8	3
50	0.3	0.1	1	8	2

表4中风暴区域上升运动分布反映了在风暴爆发性发展的不同时刻,上升运动均十分强烈,最大的上升层基本上在500hPa附近。

温度和湿度的剖面分析表明,在风暴爆发阶段,区域内的大气极不稳定,对流层低层高温、高湿,0℃等温线位于800hPa,相对湿度

度80%等值线伸展到300hPa,形成了一个明显的湿舌(见图3)。

表4 风暴区上升运动的垂直分布

单位: $10^{-4} hPa \cdot s^{-1}$

高度 /hPa	3月1日				3月2日
	00时	06时	12时	18时	00时
1000	0	0	0	0	0
850	-21	-17	-20	-18	-9
700	-33	-30	-33	-28	-17
500	-32	-34	-36	-26	-22
400	-25	-31	-30	-22	-22
300	-16	-23	-19	-16	-18
250	-11	-15	-13	-12	-14
200	-6	-7	-7	-8	-9
150	-2	-2	-3	-6	-4
100	-0.1	-1.0	-0.8	-3	-1.0
70	0.4	-0.3	0.2	-2	-0.4
50	0.6	-0.1	0.6	0	-0.1

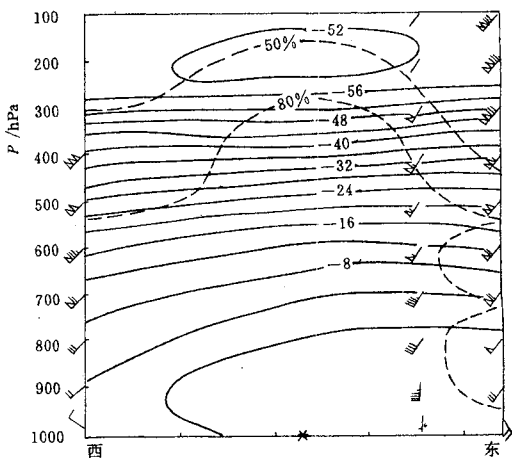


图3 1992年3月1日00时风暴区的温度、相对湿度剖面图
实线为等温线,虚线为相对湿度

3 涡度收支的分析

由前面的分析可知,风暴区域内涡度、散度和垂直上升运动的变化振幅中涡度场最强烈,为此,下面用涡度收支方程做进一步的讨论。所用涡度方程如下^[3]:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \nabla (\zeta + f)$$

$$-\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p} - \nabla \cdot \vec{V}(\zeta + f) + \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \omega}{\partial x} + E$$

风暴爆发的不同时段(6、12、18 和 24 小时)涡度的局地变化表明,风暴在发展阶段涡度的增加是十分显著的;而涡度平流项对涡度的增大在爆发阶段的 4 个时段的涡度收支中均是最重要的贡献项。下面以 3 月 1 日 00 时(爆发开始时刻)和 06 时的涡度收支情况进行讨论。从表 5 可知,涡度的局地变化项($\frac{\partial \zeta}{\partial t}$)从大气低层到高层均是正的变化,并在对流层中下层最强烈,表明风暴的气旋性环

流加剧。而涡度平流项 $[-\vec{V} \cdot \nabla(\zeta + f)]$ 是诸项中贡献最大的一项,整个气柱的积分值达 637.06 单位。其次是涡度的散度项 $[-(\zeta + f)\nabla \cdot \vec{V}]$,该项对涡度增大的贡献也主要在对流层中下层,反映低层的强烈辐合加强了风暴的气旋性环流。而涡度的垂直输送项($\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p}$),整个气柱的积分量为 101.88 单位,与散度项相当(见表 5 中最后一栏),其正的贡献也主要出现在对流层中下层。从表中可以看出扭转项和余项均是负值,余项既包含系统间的相互作用,也含有摩擦作用以及计算误差。

表 5 3 月 1 日 00 时风暴区域涡度收支情况 单位: 10^{-8}s^{-2}

P/hPa	$\frac{\partial \zeta}{\partial t}$	$-\vec{V} \cdot \nabla(\zeta + f)$	$-\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p}$	$-(\zeta + f)\nabla \cdot \vec{V}$	扭转项	E
1000—850	119.64	-112.31	-4.86	285.92	-13.47	35.63
850—700	122.69	-7.70	30.13	167.53	-36.12	-31.15
700—500	134.25	114.08	68.45	13.49	-45.86	-15.91
500—400	43.53	128.71	23.01	-67.87	-6.83	-33.48
400—300	25.65	185.01	-1.20	-95.34	8.75	-71.67
300—250	16.76	113.86	-8.01	-61.29	7.25	-35.54
250—200	26.76	98.28	-4.61	-61.61	4.25	-9.55
200—150	27.82	51.02	-0.18	-47.16	1.08	23.06
150—100	21.42	36.09	-0.01	-23.39	1.77	6.97
100—70	6.85	19.08	-0.50	-4.29	1.18	-9.34
70—50	0.27	10.21	-0.34	-1.28	0.44	-8.76
50—1000	545.55	637.06	101.88	104.70	-77.07	-221.02

表 6 是风暴爆发性发展 6 小时时的涡度收支情况,从表中可以看出,除 1000—850hPa 气层外,其余各项的涡度值均比爆发开始时刻明显加大,整个气柱的积分值达 1430.55 单位,是前一时刻 545.55 量级的 2 倍多。此时刻涡度平流项各层均为正的贡献,积分值也较前一时刻增加了 192.98 单位,而辐散项和垂直输送项均有显著的加强,特别是辐合项作用增加明显,并主要来自对流层低层,反映了该时刻风暴区低层的辐合强度进一步发展加深。余项在对流层低层仍为负值,反映了低层的摩擦作用对风暴涡度的改

变是负的贡献。

4 主要结果

本文通过对加拿大东海岸冬季风暴发生和爆发性发展的研究,得出如下主要结论:

4.1 加拿大东海岸的冬季风暴起源于陆地,东移过程中在洋面上获得爆发性发展,其中有一半的风暴达到爆发性发展的程度,主要集中在 40—50°N 纬度带,其强度属于中等强度的偏多。

4.2 这次试验期间,捕捉到两个像台风一样具有眼区的爆发性风暴个例,纠正了过去认为温带风暴无眼的认识。对其中一例的分析

表明,眼的形成是发生在爆发性发展阶段之后,而不是爆发性发展过程中。多卜勒雷达的观测表明,该风暴环境中存在强的低空急流存在,其风速达 $48\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,位于 1.4km 高度上。

4.3 该风暴区中涡度、散度和垂直上升运动在爆发性发展过程中变化十分剧烈;而涡度收支方程的诊断表明,风暴在爆发性发展过程中,其涡度的改变主要贡献项是涡度的平流项。

表6 3月1日06时涡度收支情况

P/hPa	$\frac{\partial \zeta}{\partial t}$	$-\vec{V} \cdot \nabla (\zeta + f)$	$-\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p}$	$-(\zeta + f) \nabla \cdot \vec{V}$	扭转项	E
1000—850	113.38	28.27	-7.73	344.92	-20.69	-231.38
850—700	158.10	31.77	52.96	241.91	-52.17	-116.36
700—500	322.38	84.38	120.71	107.46	-72.89	82.72
500—400	244.95	97.10	24.53	-32.81	-27.37	163.52
400—300	244.76	166.17	11.69	-108.04	-22.82	192.75
300—250	92.22	129.23	13.09	-107.55	0.23	57.21
250—200	69.50	128.32	-2.46	-110.51	11.31	42.84
200—150	68.55	81.00	-11.52	-68.12	4.04	62.34
150—100	63.17	50.37	-4.10	-22.16	-4.85	43.91
100—70	42.97	20.17	0.11	-6.16	-3.20	32.12
70—50	30.57	12.46	0.43	-1.95	-0.79	20.43
50—1000	1430.55	830.04	197.72	236.90	-189.20	355.10

参考文献

- 1 Weber, E. and S. Wilderottter. Satellite interpretation. Third weather Wing-Technical Note-81-001, Aerospace Science Division, Offutt AFB, NE. 1981; 1—56.
- 2 仪清菊,丁一汇. 海洋温带气旋发生、发展的研究. 大气科学, 1989, 13: 238—246.
- 3 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989: 204—206.

An Analysis of the Winter Storms over the East Coast of Canada

Yi Qingju

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

R. E. Stewart

(Atmospheric Environment Service of Canada)

Chen Wenyu

(The Naval Meteorological Centre)

Abstract

Using of the second experimental observational data, the winter storms over the East Coast of Canada are investigated. The results show that most of them can get explosive development, and the strongest case that has an eye is discussed in detail.

Key Words: winter storm explosive development diagnosis