

华北平原对流风暴的个例分析^①

段 英 李云川 赵亚民

(河北省人工影响天气办公室,石家庄 050021)

提 要

应用较详细的卫星云图、多普勒雷达和探空资料对一次强对流风暴进行了综合分析研究,得出了具有一定特色的对流单体组合与垂直结构图象。

关键词: 华北平原 对流风暴 单体组合 垂直结构

前 言

1998年6月21日在华北平原的海河流域发生了较大范围的雷暴、暴雨、冰雹、大风和局部扬沙,是该地区年度最强烈的一次对流性天气,损失严重。风暴的发生具有突发性,其发展又有自组织性,风暴移动路径偏离高空主导气流的角度较大,无论是综合性天气预报,还是数值预报产品释用,其预报效果均不理想。因此,有专门研讨的必要。

1 对流风暴的生命史

14时(北京时,下同)前海河流域基本上为晴空少云,地面气温升至 $34\sim 36^{\circ}\text{C}$,露点温度 $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ 。14时在天津西部、保定东部和沧州北部有大范围的浓积云发展,15:24天津西部胜芳水文站开始出现雷暴并降冰雹。16时后雷暴及阵性降水范围不断扩大,并伴随有8~10级的雷雨大风向西南方向推进,19时影响衡水地区,20时影响邢台地区。风暴平均以 $37\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度前移,横扫了河北省中、南部的广大地区,23:47至河南省安阳市,在以市区为中心的 125km^2 范围内,对流性天气再度强化,24时后对流风暴减弱消散,共经历8个小时。

图1为对流风暴的前锋(飑线)移动路径及灾害性天气分布图,黑区为降雹地域,涉及

了31个县137个乡镇,最大冰雹直径50mm(献县、广宗、巨鹿、武安等);阴影区为暴雨区(衡水55mm、磁县98.3mm、安阳160mm);雷雨大风的区域更加广阔,最大风速一般为 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,局部大于 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (故城、清河、任县、安阳等);在风暴前进方向的右侧为干对流下沉区,降水稀少,局地有风沙(石家庄、赵县、南宫等)。此次风暴造成15人死亡,494人受伤,农田受灾面积 $34.5\times 10^4\text{hm}^2$,经济损失约35亿元。

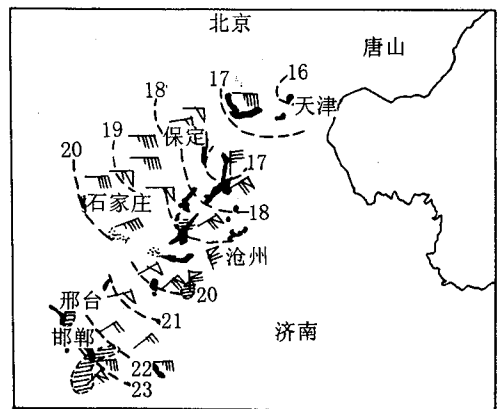


图1 1998年6月21日对流风暴移动及灾害性天气分布

黑区为降雹区,阴影区为 $\geq 50\text{mm}$ 降水区,点区为风沙区

^① 本研究得到河北省“九五”重大科技攻关项目(95—96—12)的资助。

对流风暴在发展过程中,伴随着闪电现象。石家庄测得的闪电频数时间变化(图略)显示了此次对流风暴发展的全过程。闪电频数在 19:00~20:00 达到最高值,此时也是冰雹最强的时刻。之后闪电频数缓慢减弱直至 24:00。在全过程总闪 2229 次中,云闪 886 次,地闪 1343 次。云闪中的负云闪占 42%,地闪中的正地闪占 70%。

2 天气形势和环境条件

21 日 08 时和 20 时贝加尔湖以东的赤塔上空为冷性低涡,不直接影响 40°N 以南的华北地区,华北平原中高空为暖高脊控制,300、500hPa 为负涡度区,其数值为 $-3.5 \sim -6.3 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$;700hPa 的垂直速度为 $+5 \sim +7 hPa \cdot h^{-1}$;925hPa 为热低压控制,偏南气流达 $12 m \cdot s^{-1}$;0°C 层高度 4300m;对流层顶高度 14000m,以上各图均略。

在这种高空暖脊前有下沉气流的形势下,不利于对流性天气的发展。而又是哪些有利因素,启动对流运动的爆发呢?

我们根据邢台站 21 日 08 时、14 时、20 时和 22 日 02 时的探空记录,应用空七所的强对流天气分析预报参数系统(SCAFPS Ver 1.0),计算了有关的对流参数(如表 1 所列),从这些参数不难看出:

表 1 邢台站每隔 6 小时的对流参数计算数值

时间	对流有效能量	下沉对流有效能量	相对螺旋度	大风指数
	$J \cdot kg^{-1}$	$J \cdot kg^{-1}$	(RSH)	(WI)
08:00	1202.10	1584.28	68.54	485.08
14:00	3797.09	1530.48	60.70	946.09
20:00	2048.25	1430.75	89.29	959.32
02:00	1011.39	994.30	-64.56	00.00

(1) 对流有效能量(CAPE)^[1]在 14:00 突增与低层的非绝热增温有关;下沉对流有效能量(DCAPE)^[2]在白天一直很充分,为地面雷暴大风的产生提供了基本条件。DCAPE 同时也是一个决定低层超级单体结构和在超级单体环境中旋转的一个重要参数。

(2) 风暴相对螺旋度在对流风暴过境前后截然不同。

(3) 大风指数(WI)在对流风暴来临前为最大。

3 对流风暴发生的机制

在暖高脊控制下,对流层中上部为系统性下沉运动,下沉运动抑制对流运动发展,是不利因素。但是,下沉运动又是强对流发生前抑制不稳定能量过早释放的能量贮存动力机制,系统性下沉运动,造成天气晴好,是近地面层辐射增温的直接原因。一旦低层的对流上升运动冲破中层下沉运动的抑制,则成为突发性的对流云雨,其结果更加强烈。这与文献[3]的结论以及预报员的一条经验相符合,即:“当日最高气温接近该月的极端最高气温值突发对流运动时,通常是比较猛烈的”。此次,对流运动发生前(14:00),地面气温高达 36°C,热力因素可视为对流风暴发生的主因,而低层(925hPa)偏南强风带($\geq 12 m \cdot s^{-1}$)直指天津西部,所造成的动力扰动,可视为对流风暴发生的启动机制。

4 对流单体的组合与垂直结构

4.1 生成期(14:00~16:00)

从北京中国气象科学研究院多普勒雷达站(CAMS)每半小时连续探测结果分析,在 140°~190°,120~200km 范围内有多单体的浓积云发展,自南向北移动缓慢,并呈群体性向四周扩展(图略)。

4.2 发展期(16:00~22:00)

从 17:00 对流云团的空间分布与垂直结构(图 2 右)看,风暴发展初期多个对流单体呈花瓣形组合,但对流单体的发展程度不同,处于北部的对流单体(A)发展旺盛,已降冰雹,出现下沉冷气流(偏东大风);其云顶 TBB 为 $-62^\circ C$,相当 15km,中部的对流单体(B)开始发展,初降冰雹和小范围下沉冷气流(偏东大风);南部和东部的对流单体都是新生云团,尚未开始降水,云顶 TBB $-50^\circ C$,相当 11km。

从北京中国气象科学研究院多普勒雷达

站沿 180°方向对 A 云团的垂直剖面(图 2 左)看,其云中的气流结构最明显之处是云团前进方向的流入气流强劲,与 $\geq 50\text{dBz}$ 的强回波靠近,稍偏前,在 7~10km 转变为流出。后方低层已见下沉冷气流(雷暴大风),高层的流出气流为多方面性,沿云顶扩散占一定优势。此种垂直结构与 Houze 模式基本相似^[1],其差异是从前向后的上升气流不明显。

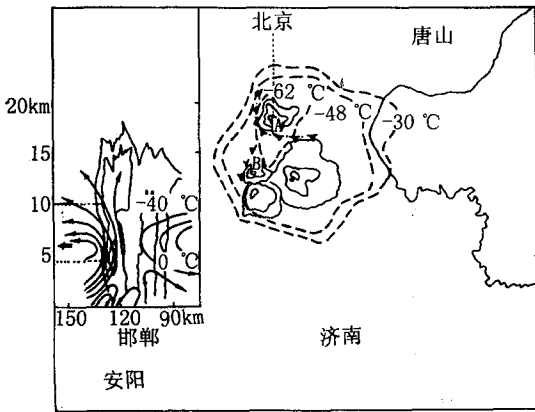


图 2 1988 年 6 月 21 日 17:00 对流风暴的组合与垂直结构

断线为卫星云图的等 TBB 线,实线为雷达回波强度线,依次是 10、30、50dBz,三角连线代表飑线

图 3 为 20:00 对流云团的空间分布与垂直结构,它显现风暴发展鼎盛时期的云团结构。强对流云团已集中到风暴前进方向的前缘,呈“弓”形排列,云顶高度 14~16km(相当 TBB-62°C),而弓形云列后部的云顶则为一个低区,约 11km(相当 TBB-48°C),即“N”中心处,云顶最高处在云列的东北方,即“L”中心处,是主要流出之所在。如此对流单体的组合与空间分布,与我们过去研究的华北冷涡引起的强对流云团模式^[5]基本相似。图中左侧的垂直剖面系同时刻邢台雷达站沿 45°方向对 G 云团的剖面,从其回波强度的垂直结构看,低空 1000~4000m 有大于 50dBz 的强回波;中高空 6000~14000m 也有大于 50dBz 的强回波;在垂直方向上有很大的前

倾性,可以推断上升入流的强劲,以及上下云团的馈云作用,且上部的强回波已恰好位于 $-5^{\circ}\sim-40^{\circ}\text{C}$,对冰雹和暴雨的形成十分有利。

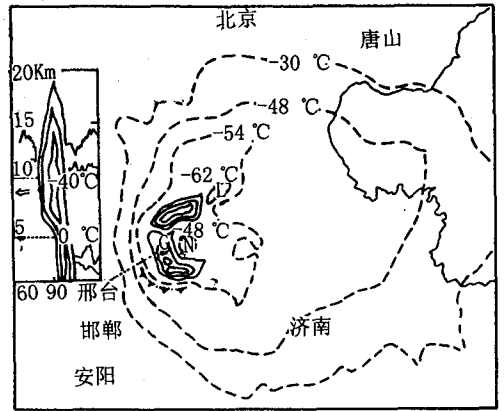


图 3 1998 年 6 月 21 日 20:00 对流风暴的组合与垂直结构

说明同图 2

5 不同尺度对流云团的相互作用

从图 5 看,对流风暴进入发展后期阶段,强对流云团的前锋(飑线)已移至河北与河南省的交界处,对流风暴后部的云顶扩展至黄河下游流域。对流性天气的强度于 19:00~21:00 在衡水、邢台地区最为强烈,冰雹落区密集,地面阵风达 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,至 22:00~23:00 对流天气趋于减弱,邯郸地区的冰雹小而分散,地面阵风减至 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,但是,23:30 后在安阳地区对流天气再度加强,出现 10 级以上狂风,冰雹大如鸡蛋,1 小时降水量达 160mm。整个对流风暴减弱的后期,在局地为何又出现如此强烈的天气? 我们察看一下 23:00 的卫星云图就会发现,在巨大的对流风暴云团的前方,有一个较小的对流单体正向北靠近,最后被巨大的对流风暴所吸附,这被吸附过程与安阳的强对流天气相关。在晴空区发展起来的独立的较小对流单体,犹如流体力学中的“喷管”,有可能成为最

佳的对流单体而造成强烈的天气。

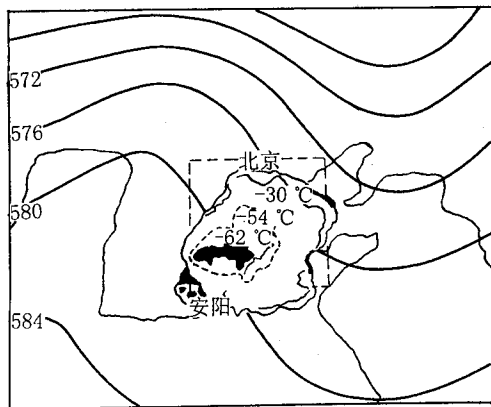


图4 1998年6月21日23:00卫星云图与
20:00 500hPa 环流形势
断线方框系图1、2、3的范围

总之,华北地区在高空暖脊下所发生的

对流风暴虽远比在高空冷涡下的几率小,但其预报难度更大,希望以此为契机开展不同天气形势下对流风暴的研究,以不断提高灾害性天气的预报水平。

致谢:感激中国气象科学研究院雷达站和空七所提供的技术支持!

参考文献

- 1 赵亚民. 中小尺度天气的若干研究. 北京:气象出版社, 1995.
- 2 Matthew S. Gilmore and Louis J. Wicker. DCAPE. 对超级单体动力学的影响. 空七所组译自 18th Conf On Severe Local, 1996:723~727.
- 3 蔡则怡. 我国强对流发生前的能量贮存机制. 大气科学, 1985, 9:377~386.
- 4 M. J. 巴德等. 卫星与雷达图象在天气预报中的应用. 北京:科学出版社, 1998:318.
- 5 郑新江等. 华北强对流云团的活动及其天气特征. 应用气象学报, 1992, (3)增刊.

A Case Study of a Convective Storm over the North China Plain

Duan Ying, Li Yunchuan, Zhao Yamin

(Hebei Provincial Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021)

Abstract

A severe convective storm was investigated by using more detailed data of satellite cloud pictures, Doppler radar and radiosonde observation. The combined pattern of convective cells with distinguishing feature and its vertical airflow structure were obtained.

Key Words: North China Plain convective storm combined pattern vertical airflow structure