

# Multi-source analysis of severe convection weather induced by a supercell storm in Hengshui

Hao Song

Hengshui Meteorological observation center

Hengshui, China

15610890001@126.com

Yuting Zhang

Hengshui Meteorological Observatory

Hengshui, China

18731858119@163.com

## 衡水市某超级单体风暴引发强对流天气的多源资料分析

宋灏

衡水市气象探测中心

衡水, 中国

15610890001@126.com

张玉婷

衡水市气象台

衡水, 中国

18731858119@163.com

**Abstract**—The severe convection weather induced by a supercell storm in Hengshui from north to south on June 13<sup>th</sup>, 2018 was analyzed by using the meteorological data from MICAPS, the data of the microwave radiometer from Hengshui Meteorological Bureau, the data of wind-profiling radar in Jizhou District of Hengshui, the data of the Doppler radar in Shijiazhuang, and the data of the dual polarization radar in Raoyang County of Hengshui. The results showed that the process was a severe convective weather triggered by a supercell storm, which triggered by the intersection of high-level dry and cold air with low-level warm and humid air in the rear of a vortex, and was dominated by hail, thunderstorm and strong wind. Hengshui had maintained an unstable stratification with cold-dry air on the top and warm-humid air on the bottom before the storm was born. The 0°C layer and the -20°C layer were at suitable heights, thus providing a favorable environment for the occurrence and development of severe convection. The northerly wind current in the middle and upper levels had played a good role in pumping and ventilating the current, which increased the transportation of cold and dry air in

the middle and upper levels, thereby further increasing the vertical wind shear in the upper and lower levels, and eventually causing the stratification to become even less stable. As the low-level shear line transited, the unstable energy was triggered, which in turn maintained the strength of the severe convective weather. The data of the dual-polarized radar could better describe the particle size, particle shape, and precipitation type, as well as detect and warn of the hail area. By integrating the data of the dual-polarized radar and the Doppler radar, early warning signals of hail could be sent about 66 minutes earlier.

**Keywords**— *supercell storm, hail, microwave radiometer, wind-profiling radar, doppler radar, dual polarization radar*

**摘要**—利用 micaps 气象资料以及衡水市气象局微波辐射计资料、衡水市冀州区风廓线雷达资料、石家庄市多普勒雷达资料、衡水市饶阳县双偏振雷达资料对 2018 年 6 月 13 日衡水市自北向南出现的一次超级单体风暴引发强对流天气过程进行分析。结果表明：此次过程是一次涡槽后部高层干冷空气与低层暖湿气流交汇触发超级单体风暴引发的强对

流天气，主要以冰雹、雷暴大风为主。风暴生成前衡水地区一直维持上干冷、下暖湿的不稳定层结，0℃层与-20℃层高度合适，为超级单体风暴的发生发展提供了有利的环境。中高层的偏北风急流起到了很好的抽吸和通风作用，增加了中高层干冷空气的输送，使高低空垂直风切变进一步增大，层结更加不稳定。低层切变线过境，触发了近地面的不稳定能量，使超级单体风暴得以维持。双偏振雷达资料可更好地描述粒子的尺寸、形状以及降水类型，还可以探测和预警冰雹区域，在此次过程中，将其与多普勒雷达资料结合分析，可使冰雹预警信号的提前量达到66分钟左右。

关键词—超级单体风暴，冰雹，微波辐射计，风廓线雷达，多普勒雷达，双偏振雷达

### I. 引言

强对流天气是指短时强降水、雷暴大风、冰雹、龙卷等破坏性天气，多发生于中小尺度天气系统。其中，与超级单体相伴的强对流天气则具有持续时间长、灾害范围广、发展最为猛烈等特点。“超级单体 (super cell)”一词是 Browning<sup>[1]</sup>于1962年在研究发生在英国的一次强对流风暴时提出的，代表该风暴在其最强盛期间的准稳定状态。Marwitz (1972)<sup>[2]</sup>以及 Chisholm 和 Renick (1972)<sup>[3]</sup>正式提出将超级单体作为局地对流风暴的一种类型，超级单体一词作为一种风暴类型的代表才被广泛使用。

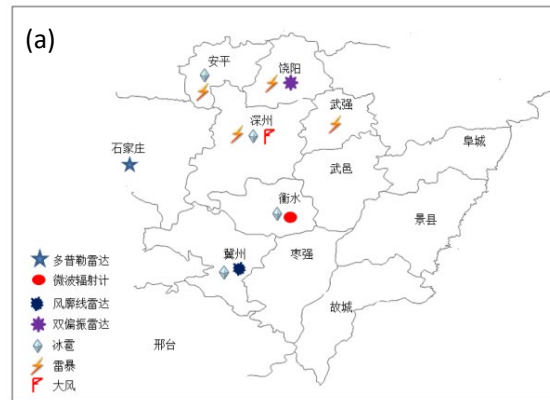
夏季衡水市强对流天气频发，本文利用2018年6月13日MICAPS气象资料以及石家庄多普勒雷达资料、衡水市气象局微波辐射计资料、衡水市饶阳县双偏振雷达资料、衡水市冀州区风廓线雷达资料等对此次超级单体引发强对流天气进行分析，旨在提高对强对流天气的认识，提高强对流天气预报预警准确率。

### II. 资料与方法

本文所使用的资料为2018年6月13日micaps气象资料以及石家庄多普勒雷达资料、衡水市气象局微波辐射计资料、衡水市饶阳县双偏振雷达资料、衡水市冀州区风廓线雷达资料，图1a为各类探测仪器的地理分布。因邢台探空位置偏南，不能很好地指示此次强对流天气发生前后的大气层结情况，因此此次过程分析未采用。

### III. 天气实况

2018年6月13日下午，衡水市自北向南出现强对流天气(图1a)，主要以冰雹、雷暴、大风为主(图1b)。其中共有四个县(市、区)出现冰雹，分别为安平县(16:08)、深州市(16:30)、衡水市区(17:01)、冀州区(17:24)，最大直径2.2cm，四个县市出现雷暴，分别为饶阳县(15:57)、安平县(16:04)、深州市(16:15)、武强县(16:18)，深州市出现22m/s的大风(另安平16m/s、饶阳15.4m/s、衡水12m/s、冀州16.3m/s)。



河北省重要天气报数据					
站号	站名	地区	天气	详情	
61	54606	饶阳	河北省	雷暴	15点57分出现雷暴
62	54609	安平	河北省	雷暴	16点04分出现雷暴
63	54626	肃宁	河北省	雷暴	16点04分出现雷暴
64	54609	安平	河北省	冰雹	16点08分出现冰雹 1.4cm
65	53688	行唐	河北省	大风	16点10分在70度方位,瞬时风力达到18m/s
66	54608	深州	河北省	雷暴	16点15分出现雷暴
67	54700	武强	河北省	雷暴	16点18分出现雷暴
68	54608	深州	河北省	冰雹	16点30分出现冰雹 0.6cm
69	54608	深州	河北省	大风	16点31分在360度方位,瞬时风力达到22m/s
70	54702	衡水	河北省	冰雹	17点01分出现冰雹 0.8cm
71	54704	冀州	河北省	冰雹	17点24分出现冰雹 2.2cm

图1 2018年6月13日衡水市强对流天气实况

### IV. 大尺度环流背景和影响系统分析

从2018年6月13日08时的形势场来看，高空500hPa(图2a)河北省北部与内蒙古交界处有一低涡，槽位于我省北部-山东一带，我市处于涡底槽后西北气流影响，700hPa(图2b)在河北省北部到南部地区有一南北向切变，850hPa(图2c)切变线与700hPa切变线基本垂直。但中低层切变线的位置明显偏后于500hPa槽线位置，高低层系统为前倾结构，有利于强对流天气出现。地面(图2d)我市为东北风，在河北省中南部地区有一低压，倒

槽压在河北省中北部地区,有利于辐合上升运动。

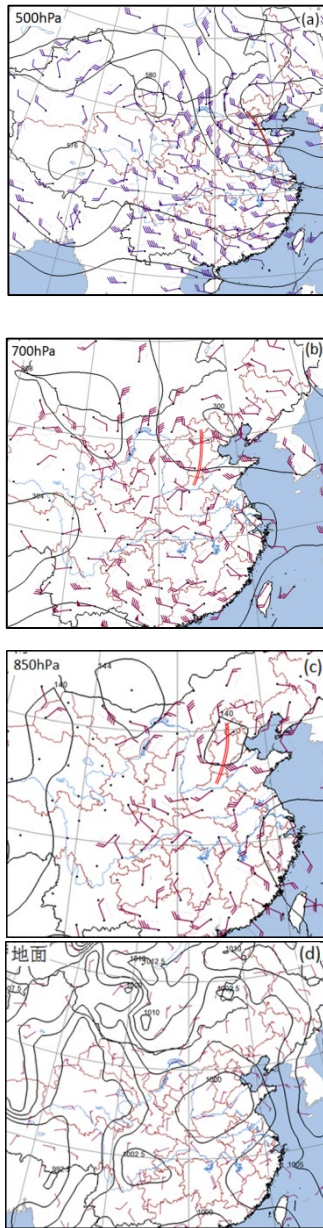


图2 2018年6月13日08时形势场

6月13日14时,系统继续东移,前倾结构依旧维持,700hPa与850hPa切变线从我市移过,地面(图3)我市依旧维持东北风,倒槽南压至河北省中南部地区,辐合上升运动增强。低层系统过境,对降雹有明显的触发作用。

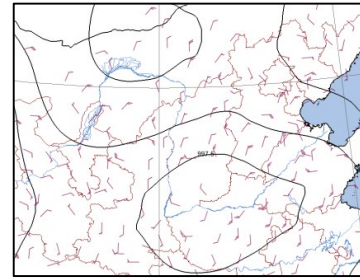


图3 2018年6月13日14时地面图

### V. 微波辐射计资料分析

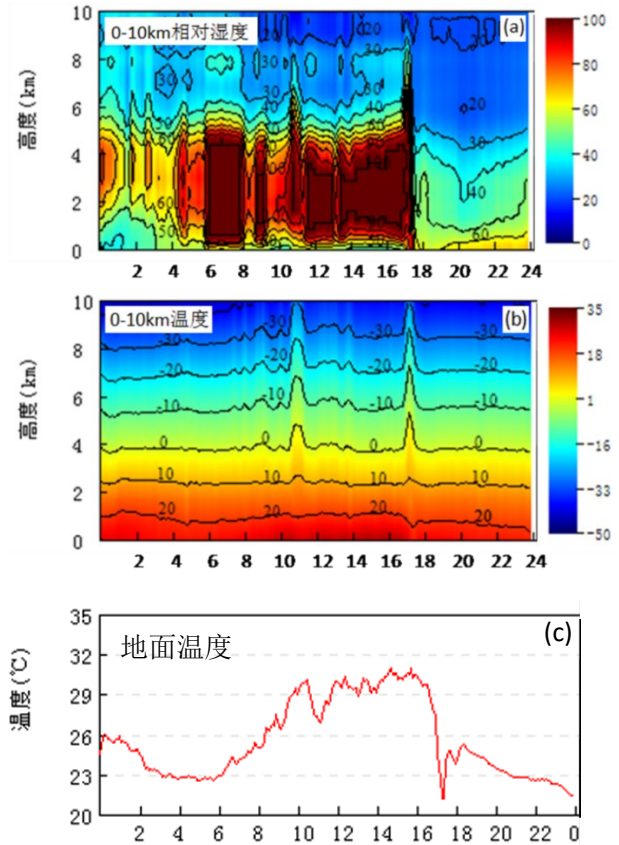


图4 2018年6月13日微波辐射计资料

为了解降雹前后衡水地区的高低空层结构情况,对衡水市气象局的微波辐射计资料进行分析<sup>[4]</sup>。从2018年6月13日微波辐射计相对湿度时空序列图上来看(图4a),从13日04时开始,0-5km附近高度上的相对湿度有一个明显的增大,06时以后相对湿度接近100%,而5km以上相对湿度则一直较低,维持在30-40%左右;另外,从温度时空序列图上来看(图4b),4km以下温度一直维持在0℃以上,尤其是12时以后,地面温度一直在30℃以上(图4c)。因此,13日06时以后,衡水市一直维持上干冷、下暖湿的不稳定层结,有利于雷暴大风的出现。另外,0℃层高度在4km附

近,  $-20^{\circ}\text{C}$ 层高度在 7km 附近; 地面为东北风, 高空则为较大的西北风, 垂直风切变较大, 有利于冰雹的出现。因此, 衡水地区的层结很利于出现强对流天气。

### VI. 风廓线雷达资料分析

为了了解降雹前后冷空气活动情况及衡水市上空风场垂直变化结构, 对衡水市冀州区风廓线雷达资料进行分析<sup>[5]</sup>。14:18 之前, 500m 以下风随高度顺转, 表明冀州区上空近地面层为弱的暖平流, 500m 以上风随高度逆转, 表明上层有冷平流。在 5.5km 附近有 20m/s 的大风速带一直维持, 起到了很好的抽吸和通风作用, 3km 附近有 18m/s 的偏北风低空急流, 二者增加了中高层干冷空气的输送, 使高低空垂直风切变进一步增大, 层结更加不稳定。17:18 前后, 1-1.5km 附近有切变线过境, 触发了冀州区的不稳定能量, 使强对流天气维持, 17:24 冀州区开始降雹。

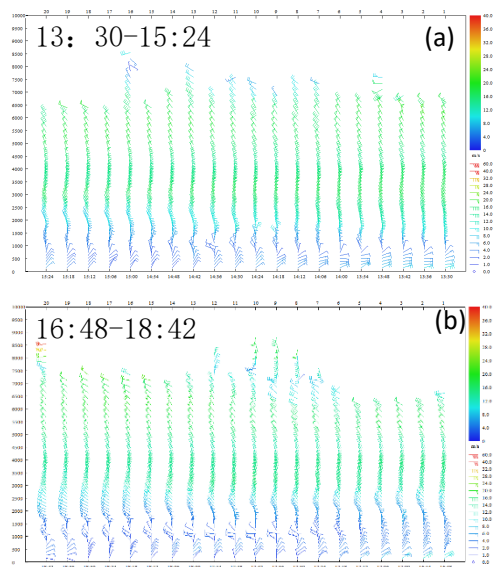


图 5 2018 年 6 月 13 日风廓线雷达资料

### VII. 卫星云图资料分析

为了解此次衡水地区强对流天气对流云团的基本特征, 对 FY2E 卫星云图资料进行分析。从红外云图来看, 13 日 13 时在北京南部附近有一对流云团产生, 随后向南移动并有所加强。16 时, 此对流云团开始影响衡水市。从 17 时 (图 6) 红外云图来看, 对流云团云顶亮温达到  $220^{\circ}\text{K}$ , 为一发展强盛的积雨云, 在对流云团的西南侧已经出现“V”型结构, 说明此积雨云为一雹暴云; 从可见光图像及水

汽图像来看, 此雹暴云团出现上冲云顶和暗影, 并且水汽含量较多, 发展旺盛。18 时此云团移出衡水市并开始减弱消散。

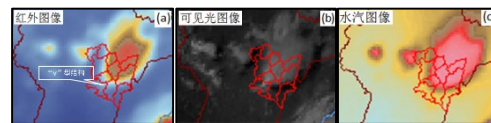


图 6 2018 年 6 月 13 日 17 时 FY2E 云图资料

### VIII. 多普勒雷达资料分析

为详细了解此次过程影响系统的中小尺度特征, 对离系统较近的石家庄多普勒雷达资料进行分析<sup>[6]</sup>。2018 年 6 月 13 日下午, 有一孤立的雷暴单体从保定地区生成, 随后由北向南移动。14:48 此雷暴单体加强成为超级单体 (图 7): 从基本反射率因子图中可以看到回波最强处已达到 55dBZ, 并且出现较为明显的钩状回波和三体散射长钉, 说明此时对流单体已经逐渐开始具有冰雹的回波特征; 从剖面图中可以看出, 50dBZ 的强回波已经发展到 9km 以上, 远高于  $-20^{\circ}\text{C}$ 层高度, 并且低层出现有界弱回波区和较强的反射率因子梯度, 中高层出现回波悬垂, 有利于冰雹的形成; 从垂直累积液态水 (VIL) 图中可以看出, 初期有 VIL 值从  $25\text{kg}/\text{m}^2$  向  $45\text{kg}/\text{m}^2$  跃增, 对冰雹的形成有指示作用; 从基本速度图中可以看出, 低层出现 17.5m/s 的径向速度, 并且弱的中气旋开始形成并发展, 转动速度达到 10m/s, 加大了出现雷暴大风的潜势。这说明此超级单体可出现冰雹、雷暴大风等强对流天气。

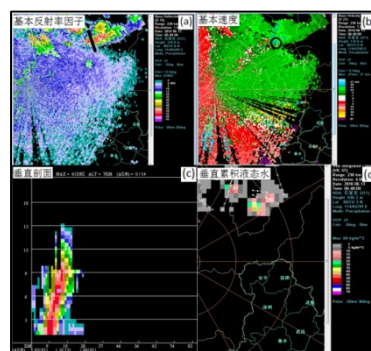


图 7 2018 年 6 月 13 日 14:48 多普勒雷达资料  
随后, 此超级单体由北向南移动并有所加强, 15:54 开始影响我市, 15:57 饶阳县出现雷暴, 16:04 安平县出现雷暴, 16:08 安平县出现冰雹。从 2018 年 6 月 13 日 16:06 石家庄多普勒雷达资料来看, 基本反射率因子最强处达到 65dBZ, 钩状回波和三体散射长钉更加明

显, 50dBZ 的强回波依旧维持在 9km 以上, 低层有界弱回波区、反射率因子强梯度和中高层回波悬垂更加清晰, 垂直累积液态水 (VIL) 达到  $60\text{kg}/\text{m}^2$ , 中气旋转速度维持在  $10\text{m}/\text{s}$  左右, 以上各指标均指示可出现冰雹、雷暴大风等强对流天气。

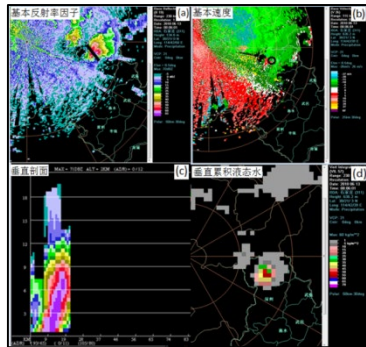


图 8 2018 年 6 月 13 日 16:06 多普勒雷达资料

16:12 此超级单体开始影响深州市, 16:30 深州市出现冰雹, 16:31 深州市出现  $22\text{m}/\text{s}$  大风。从 2018 年 6 月 13 日 16:30 石家庄多普勒雷达资料来看, 基本反射率因子最大值、钩状回波和三体散射长钉、50dBZ 的强回波高度、低层有界弱回波区、反射率因子强梯度以及中高层回波悬垂与 16:06 相比变化不大, 指示冰雹天气继续维持。但低层最大径向速度增大至  $20\text{m}/\text{s}$  左右, 中气旋转速度也增大至  $15\text{m}/\text{s}$  左右, 并且从基本反射率因子剖面图来看, 最大反射率因子核心高度与 16:06 相比有一个明显的下降, VIL 值也由  $60\text{kg}/\text{m}^2$  降至  $50\text{kg}/\text{m}^2$ , 指示地面可出现大风天气。

16:48 此超级单体开始影响衡水市区, 17:12 由市区移至冀州区, 17:36 此超级单体在冀州区南部减弱并消散。

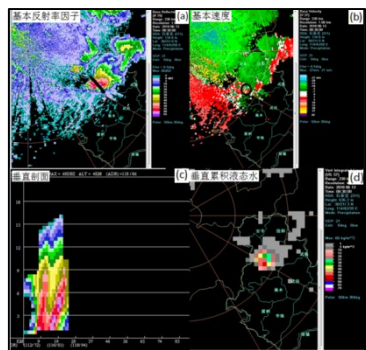


图 9 2018 年 6 月 13 日 16:30 多普勒雷达资料

综上所述, 此超级单体由衡水北部生成至衡水南部消散, 共造成衡水市 4 个县(市、区)

出现冰雹、雷暴大风等强对流天气。65dBZ 以上的强反射率因子、钩状回波和三体散射长钉、低层有界弱回波区和反射率因子强梯度、中高层回波悬垂、初期 VIL 值跃增和 VIL 大值的维持等指标可指示冰雹的出现; 低层径向速度大值区、最大反射率因子核心高度迅速下降、VIL 值迅速下降则可指示雷暴大风的出现。

### IX. 双偏振雷达资料分析

与多普勒雷达相比, 双偏振雷达除了可获取基本反射率因子、基本速度等常规产品外, 其优势在于其可更好地描述粒子的尺寸、形状以及降水类型。除此之外, 其还可以探测和预警冰雹区域<sup>[7-9]</sup>。

差分反射率 ZDR 定义为:  $ZDR=10\log_{10}[Z_H/Z_V]$ , 其中  $Z_H$  和  $Z_V$  分别为水平通道和垂直通道的强度, 可以理解为水平通道和垂直通道的强度差, 单位是 dB, 比值的大小直接和粒子的形状(非球形)有关。由于大雨滴呈扁的椭球状, 故 ZDR 值可达 3-5dB; 而冰雹更接近于球形, 因此 ZDR 值在零附近, 可以是小的负值或小的正值。

差分传播相移率 KDP 定义为:  $KDP=[\Phi_{DP}(r_2)-\Phi_{DP}(r_1)]/2(r_2-r_1)$ , 也就是  $\Phi_{DP}$  在距离上(双程)的变化率, 该参量和液态水含量直接相关。一般来说, 降水区中的液态水含量越多, KDP 值越大, 单位是  $^{\circ}/\text{Km}$ 。冰雹时, 一般  $KDP < 1^{\circ}/\text{Km}$ , 但含有冰核的大雨滴时, KDP 可达  $2.5^{\circ}/\text{Km}$ 。

零延迟相关系数 ROHV 表征的是同时接收到的  $Z_H$  和  $Z_V$  之间相关程度的物理量, 水凝物相态、形状多样时 ROHV 值较小, 在只有一种凝聚物时 ROHV 值较大。

饶阳县双偏振雷达 14:56 开始观测到此超级单体, 15:02 此单体移至保定市清苑附近。从  $1.5^{\circ}$  仰角资料可以看出, 较强的回波出现在图中黑色圆圈处, 最强达到 55dBZ(图 10a), 此处的 ZDR 值约为  $-0.5 - 1.0\text{dB}$ (图 10b), KDP 值约为  $-0.5 - 2.5^{\circ}/\text{Km}$ (图 10c), ROHV 值约为  $0.93 - 0.99$ (图 10d), 以上各数值皆指示此处出现冰雹或雨夹雹。

结合双偏振雷达与多普勒雷达资料, 衡水地区此次发布冰雹预警信号的提前量可达 66 分钟左右。

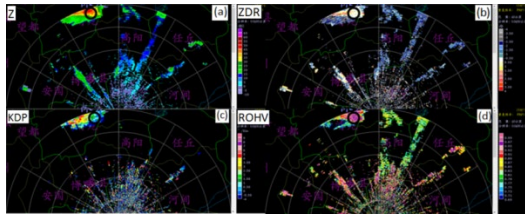


图 10 2018年6月13日15:02 双偏振雷达资料  
至 16:24 (图 11), 此超级单体回波较强  
处移至深州北部 (图 11a), 从其垂直剖面  
上来看 (图 11b), 2km 以下出现 65dBZ 以上  
的强回波, 并且有明显的低层反射率因子强梯  
度和回波顶偏移。55dBZ 回波高度约为 7KM, 与  
-20℃层高度接近, 为高悬的强回波, 有利于  
雹胚的形成与生长。从双偏振雷达的相态识别  
结果来看 (图 11c、d), 此处粒子相态主要为  
雨夹雹, 其存在的主要高度为 2-5km, 另外还  
存在雨滴、湿霰、干霰、不规则冰等混合粒子。

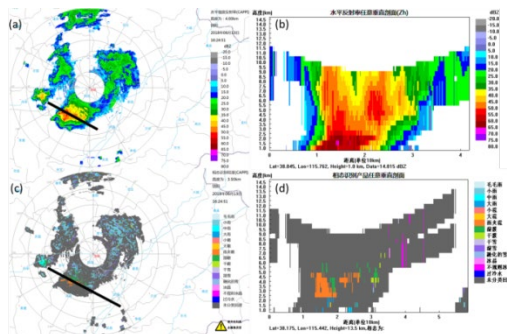


图 11 2018年6月13日16:24 双偏振雷达资料

## X. 结论

此次过程是一次涡槽后部高层干冷空气与低层暖湿气流交汇触发超级单体风暴引发的强对流天气, 主要以冰雹、雷暴大风为主。衡水市局微波辐射计资料显示, 风暴生成前衡水地区一直维持上干冷、下暖湿的不稳定层结, 0℃层与-20℃层高度合适, 为超级单体风暴的发生发展提供了有利的环境。从冀州区风廓线雷达资料看, 中高层的偏北风急流起到了很好的抽吸和通风作用, 增加了中高层干冷空气的输送, 使高低空垂直风切变进一步增大, 层结更加不稳定。低层切变线过境, 触发了近地面的不稳定能量, 使超级单体风暴得以维持。从多普勒雷达资料看, 此超级单体出现的 65dBZ 以上的强反射率因子、钩状回波和三体散射长钉、低层有界弱回波区和反射率因子强梯度、中高层回波悬垂、初期 VIL 值跃增和 VIL 大值的维持等指标可指

示冰雹的出现; 低层径向速度大值区、最大反射率因子核心高度迅速下降、VIL 值迅速下降则可指示雷暴大风的出现。双偏振雷达资料的优势在于其可更好地描述粒子的尺寸、形状以及降水类型, 还可以探测和预警冰雹区域。在此次过程中, 将其与多普勒雷达资料结合分析, 可使冰雹预警信号的提前量达到 66 分钟左右。

## 致谢

衷心感谢衡水市气象台各位专家的真诚帮助, 为本课题论文的书写及讨论提供了宝贵的意见。本课题得到了河北省科技厅“太行山东麓人工增雨防雹试验示范项目”的鼎力支持。

## 参考文献

- [1] Browning K A, Ludlam F H. Airflow in convective storms[J]. Qum J Roy Meteor Soc, 1962, 88(1):117-135.
- [2] Marwitz J D. 1972. The structure and motion of severe hailstorms. J. APPL. Met., 11, 166-201.
- [3] Chisholm A J and Renick J H. 1972. The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, Alberta Hail Studies, 1972, Research Council of Alberta Hail Studies Rep. No. 72-2, 24-31.
- [4] 刘红燕, 王迎春, 王京丽, 李炬, 曹晓彦, 熊斌. 由地基微波辐射计测量得到的北京地区水汽特性的初步分析[J]. 大气科学. 2009 (02)
- [5] 董保举, 刘劲松, 高月忠. 基于风廓线雷达资料的暴雨天气过程分析[J]. 气象科技. 2009 (04)
- [6] 王令, 康玉霞, 焦热光, 卞素芬, 丁青兰. 北京地区强对流天气雷达回波特征[J]. 气象. 2004 (07)
- [7] 张磊. C波段双线偏振雷达数据处理及其在粒子分类和降水估测中的应用[D]. 南京信息工程大学. 2017
- [8] 刘黎平. 双线偏振多普勒天气雷达估测混合区降雨和降雹方法的理论研究[J]. 大气科学. 2002 (06)
- [9] 刘黎平, 葛润生, 张沛源. 双线偏振多普勒天气雷达遥测降水强度和液态含水量的方法和精度研究[J]. 大气科学. 2002 (05)