

许庆娥,李改琴,王春玲,等.一次强冰雹天气成因分析[J].陕西气象,2018(3):1-6.

文章编号:1006-4354(2018)03-0001-06

一次强冰雹天气成因分析

许庆娥,李改琴,王春玲,董建设,王 聪

(濮阳市气象局,河南濮阳 457000)

摘要:利用常规观测资料,河南郑州、濮阳和商丘新一代天气雷达产品,加密自动站及邢台探空资料等,对2016年6月13日河南濮阳东部地区的强冰雹天气进行分析。结果表明,这次强冰雹天气是在东北冷涡后部西北气流携带冷空气东移南压过程中出现的。高空急流和中低层切变线的存在、上干下暖湿的不稳定层结及高空冷平流共同作用,产生了这次强对流天气;强冰雹天气出现在暖低压与冷空气交汇的区域,地面辐合线是这次强冰雹天气的触发机制;较大的对流有效位能、中等强度垂直风切变、合适的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度等有利于强冰雹天气的发生;强冰雹天气是在对流单体发展为超级单体时发生的。径向速度图上,当监测到中气旋、大风区和辐合系统时,为监测预警强风暴天气提供可靠依据;较大的垂直累积液态水含量出现与维持预示大冰雹出现的潜势,大冰雹落区与垂直累积液态水含量大值区有较好的对应关系;当冰雹发生概率为100%,且可降最大冰雹直径在10 mm以上,并呈增大趋势时,对出现冰雹甚至出现大冰雹有预警意义。

关键词:强冰雹;东北冷涡;不稳定层结;对流有效位能;中气旋;冰雹指数

中图分类号:P458.121.2

文献标识码:A

冰雹天气是濮阳地区夏季的主要灾害性天气之一,因其具有破坏力大、局地性强的特点,常给工农业生产、人民生命财产带来严重危害。近年来,不少专家和学者对冰雹天气预报预警做了大量的分析研究。王华等^[1]通过对北京两次强冰雹天气的对比分析,认为两次过程中雹云的发展演变、冰雹的落区与地面中尺度系统都有较好的对应;苏爱芳等^[2]对豫北一次局地雹暴天气的预警特征和触发机制分析表明,局地强对流天气是在东北冷涡背景下产生的,高低层中尺度影响系统交汇处右侧为强对流发生潜势区;张震^[3]从冰雹形成所需具备的三个条件入手,对500 hPa上存在东北冷涡并南压形势下出现在河南的一次强冰雹灾害天气分析,结果表明,水汽条件、不稳定层结、外部抬升力等条件同时满足,易导致强对流性天气,适宜的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度及大的环境风垂直切变有利于雹粒增长;牛淑贞等^[4]分析了

强对流风暴的雷达产品特征,认为雷雨大风伴随局部冰雹和短时强降水的强对流天气,强中心基本反射率在 $53\sim 65\text{ dBz}$,回波顶高度 $11\sim 16\text{ km}$,对应垂直累积液态水含量在 $48\sim 63\text{ kg/m}^2$;袁鹏飞等^[5]对一次大冰雹天气的新一代天气雷达回波分析,认为强度 $>55\text{ dBz}$ 的回波高度高于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度,VIL值 $>60\text{ kg/m}^2$,回波顶高 $>12\text{ km}$,有中气旋出现等,是降雹的可靠信号;张一平等^[6]对东北低涡槽后型河南强对流过程的天气学特征分析,总结出SI、LI值均为负值,K指数 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta\theta_{se(850-500)}\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,CAPE值 $\geq 1\ 500\text{ J/kg}$,SWEAT指数 ≥ 180 , $0\sim 6\text{ km}$ 水平风垂直切变 $\geq 15\text{ m/s}$,大气可降水量 $\geq 2\text{ cm}$,可作为发生灾害性强对流天气的参考指标。由于直接造成强对流天气的中小尺度系统发生突然、发展迅速,致使强对流天气预报预警难度较大。因此,结合新一代天气雷达产品的应用,加强对强对流天气中小尺度的分析

收稿日期:2017-10-19

作者简介:许庆娥(1963—),女,汉族,河南安阳人,本科,工程师,主要从事短期天气预报业务与研究。

基金项目:濮阳市气象局科技创新基金项目(Pq201604)

研判,提高此类天气的预报准确率及预警时效。

利用常规观测资料,河南郑州、濮阳和商丘新一代天气雷达产品,加密自动站及邢台探空资料等,对造成濮阳东部地区降雹的环境场条件和中尺度天气系统进行分析,揭示冰雹天气的成因,为今后中小尺度灾害性天气的预报、预警提供参考。

1 天气实况和灾情

2016年6月13日15:00—18:00,河南濮阳地区东部的范县、台前县部分乡镇自西向东出现了雷阵雨、短时大风、强冰雹和局地短时强降水天气,冰雹最大直径为2~4 cm,台前县夹河乡恒发(四要素站)17:00—18:00出现短时强降水天气,小时降水量达40.5 mm。强天气影响时段,极大瞬时风速达17.8 m/s,18:00以后强系统移入山东境内。

这次强对流天气突发性强、强度大,主要以风雹天气为主,波及范县、台前两县十多个乡镇,据当地民政部门统计,此次灾害天气共造成2 580 hm²的莲藕、西瓜和葡萄受灾,并有100余座农业大棚受损,造成直接经济损失两千余万元。

2 环境条件分析

冰雹是由对流风暴产生的,因此产生对流风暴的三个必要条件(垂直层结不稳定、水汽和抬升机制)也是产生冰雹的必要条件^[7]。由高空形势分析图(图1,见第5页)可知,2016年6月13日08时,200 hPa天气图上有一风速 ≥ 40 m/s的高空急流穿过河南,高空急流的抽吸作用,有利于上升气流的维持和加强;豫北的濮阳地区位于高空急流出口区左侧,此处有利于产生上升气流,形成强对流天气。500 hPa东北地区有一冷涡,高空槽位于伊春、通化、丹东到济南一线,其后有一冷槽配合,濮阳地区受冷涡后部西北气流控制,高空冷平流明显;700 hPa,冷槽位置与500 hPa相同,邢台与济南之间有西北风与西南风的切变,未来东移影响濮阳东部地区;850 hPa上有温度脊伸向濮阳地区,且该区域850 hPa与500 hPa温度差 ≥ 28 °C,较大垂直温度梯度说明濮阳上空大气层结不稳定,为此次过程提供了对流不稳定条件。850 hPa与700 hPa切变线基本一致,925 hPa上有一东北风与东南风切变线,925 hPa

与850 hPa切变线几乎重合,濮阳东部的范县、台前县位于切变线东南侧的暖湿气流中,三层切变线的叠加为此次强天气提供了强烈的动力抬升条件。850 hPa湿舌(比湿 ≥ 8 g/kg)覆盖濮阳上空,为此次过程提供了水汽条件。13日20时(图略),500 hPa高空槽东移入海,强冰雹天气发生在高空槽东移南压过程中。以上分析表明,高空急流和中低层切变线的存在、上干冷下暖湿的不稳定层结及高空冷平流共同作用,产生了这次强对流天气。

13日08:00地面图上(图略),闭合暖低压位于河套地区西部,华北有弱冷空气扩散南下,河北中部的沧州到石家庄有一辐合线,濮阳位于暖低压前部、地面辐合线下游的均压场中。14:00(图略)暖低压东移发展加强,低压中心值达到995.0 hPa,辐合线在南压过程中断开,其中西段位于冀州到邢台一线,由于暖低压发展(阻挡作用),西段辐合线在原地维持;东段辐合线沿暖低压东北边界向东南方向移动,在河北冀州市和枣强县出现西北风与西南风的辐合,两地出现雷阵雨和冰雹天气。东段在南压过程中形成了多个小尺度低压和辐合线,濮阳位于暖低压带和辐合线东南侧的暖湿气流中。17:00(图略)暖低压继续发展加强,濮阳地区处于中心值为997.5 hPa的低压带中,濮阳地区14:00—17:00 3 h变压达-2.7~-3.1 hPa,变压风辐合明显加强。濮阳东部范县、台前县位于黄河沿岸,湿度较大,随着地面辐合线和弱冷空气东移南压,导致了这次强冰雹天气。由此可见,地面辐合线是这次强冰雹天气的触发机制。

3 探空分析

对流风暴中强烈的上升气流是产生大冰雹的必要条件。大的对流有效位能(CAPE)和较大的垂直风切变是产生大冰雹的有利条件。通过分析离濮阳最近且位于濮阳上游的邢台站探空资料(图2a,见第5页)发现,13日08时邢台对流有效位能CAPE为233.2 J/kg,K指数为34 °C,SI指数为0.89 °C,抬升指数(LI)为-1.27 °C,0~6 km垂直风切变为10.0 m/s,0 °C层高度为3.9 km,-20 °C层高度在7.1 km附近。随着地

面太阳短波辐射增温和暖低压的加强,14时范县地面温度达 $32.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、露点温度升至 $20.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,用此温度露点订正邢台探空资料后(图2b),订正后的CAPE高达 $3\ 353\text{ J/kg}$ 、K指数也增大到 $36.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、SI指数为 $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,抬升指数(LI)也变为 $-8.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变增大到 12.9 m/s 。参考河南省大风冰雹类强对流天气物理量阈值^[7],CAPE值 $\geq 1\ 700\text{ J/kg}$ 、SI值 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、LI值 $\leq -5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、K指数 $\geq 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变 $\geq 12.0\text{ m/s}$,出现冰雹的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度在 $4.0\sim 4.5\text{ km}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度在 7.5 km 左右。由此可见,较大的对流有效位能、中等强度的垂直风切变、合适的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度等都有利于强冰雹天气的发生。

从订正后的探空曲线可见,大气层结很不稳定,存在较大的不稳定能量,且近地面层($1\ 000\sim 925\text{ hPa}$)较暖、中层($700\sim 520\text{ hPa}$)较湿($t-t_d\leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$)、高层(400 hPa 以上)干冷的不稳定层结和中低层($925\sim 500\text{ hPa}$)弱冷空气侵入,混合对流特征明显。同时 $1\ 000\sim 925\text{ hPa}$ 风随高度顺转有暖平流, $925\sim 500\text{ hPa}$ 风随高度逆转有冷平流, $400\sim 250\text{ hPa}$ 是一致的西北风,再往上逆转为西风,且风速增加明显, 200 hPa 及以上为 $>20\text{ m/s}$ 高空强风速带,强辐散有利于低层辐合上升^[8]。这种上干冷、中层较湿、近地面层较暖的大气层结,及中低层弱冷空气的侵入和高空强风速带的存在,为强冰雹天气提供了有利的环境条件。

4 雷达回波分析

强冰雹天气是中小尺度系统,常在雷达产品图上有较好的反映,利用濮阳、郑州、商丘三地的雷达产品对该次过程进行分析,探讨强冰雹天气的雷达回波特征。

4.1 基本反射率特征

图3(a-c,见第6页)为2016年6月13日郑州多普勒雷达基本反射率回波图。从 1.5° 仰角的基本反射率图上可以看出,15:26沿地面辐合线在范县王楼—山东莘县一线存在东北西南向排列的块状回波,回波顶高为 14 km ;15:32,位于王楼的回波在向东南移动的过程中发展加强,强回波中心强度为 63 dBz ;15:38,回波范围扩展到濮

城镇、杨集乡和白衣阁乡;15:44,强回波继续向东南方向移动,并持续增强,最强回波达 65 dBz ,受其影响,附近的自动站出现6级以上的西西北风,并出现雷阵雨天气。从沿雷达最强反射率因子核心所做的垂直剖面(图3e)来看,大于 60 dBz 的强回波伸展高度达到 9 km 以上,远在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层等温线高度(7.1 km)之上,出现强降雹的可能性很大^[9]。15:38,块状对流回波分裂为两个对流单体,随着强回波东移南压,一个对流单体向东南方向移动,影响范县的白衣阁乡、龙王庄镇、陈庄乡、杨集乡、陆集乡,16:20左右发展成超级单体,造成范县南部部分乡镇出现强冰雹天气,16:36之后移入山东境内。另一个对流单体16:13—16:40东移影响台前县侯庙乡、马楼乡和孙口乡,先后出现冰雹天气,17:18左右移出台前县。

由于雷达探测距离的局限,17:00以后影响台前县东部乡镇的回波用商丘雷达产品进行分析。从 1.5° 仰角基本反射率图可以看到,在地面辐合线上,15:54在山东聊城—莘县一线有东北西南向对流单体形成的回波带,该回波带沿地面辐合线向东南方向移动,位于莘县的对流单体16:37移至阳谷东北部时发展加强,最强回波达 65 dBz ,且呈现回波悬垂特征(剖面上)。17:14,该单体移至台前县打渔陈乡境内时回波减弱,17:20再次发展加强,强回波中心强度为 63 dBz ,17:32回波范围变大,影响台前恒发站,17:39达最强(图3d),从沿雷达最强反射率因子核心的垂直剖面图(图3h)来看,大于 60 dBz 强回波伸展高度达 7.5 km 以上,有利于降雹。在强回波影响时段(17:20—17:45),台前县打渔陈乡、恒发站出现冰雹天气。17:45回波强度减弱到 55 dBz ,17:51回波继续减弱至 50 dBz ,17:45—17:51大于 50 dBz 强回波中心下移,伸展高度降至 6.5 km 以下,此时段冰雹天气逐渐结束,主要以强降水为主,恒发站17:00—18:00出现短时强降水(40.5 mm)天气,并伴有 17.8 m/s (17:45)西北风。18:00左右,回波移出台前县境内,影响台前县的强对流天气结束。

4.2 径向速度演变特征

濮阳多普勒雷达 2.4° 仰角径向速度图上,15:52,在范县的白衣阁、龙王庄附近有小尺度辐合

性气旋存在(图 4a, 见第 6 页); 16:05, 该系统东移南压到范县的高码头、陈庄附近; 16:23, 气旋在范县陈庄、杨集东南部加强为中气旋(图 4b), 中气旋转动速度达 15.5 m/s , 中气旋风速辐合区内(范县南部部分乡镇)出现了直径为 $2\sim 4 \text{ cm}$ 的大冰雹; 16:29 以后, 该中气旋移入山东境内, 造成山东菏泽和济宁的部分县区出现冰雹天气; 17:24, 台前的打渔陈乡也监测到中气旋(图 4c), 说明此地有明显的辐合上升运动, 持续一个体扫后稍有减弱, 此地也出现冰雹天气, 并伴有 17.8 m/s 的西北风。速度图上, 出现了多个小尺度气旋和中气旋, 说明在中低压内, 特别是在中气旋内, 辐合上升运动特别强烈^[10]。速度图上中气旋、大风区和辐合系统的出现为监测预警强风暴天气提供可靠依据。

16:42, 在濮阳多普勒雷达 1.5° 仰角径向速度图(图 4d)上, 台前县孙口乡东部 3.1 km 上空出现速度差值为 34 m/s 的中层径向辐合(MARC), 与 700 hPa 切变线移动路径相对应, 对 MARC 的研究表明, 利用 MARC 预报地面大风的提前时间大约为 $10\sim 30 \text{ min}$ ^[11], 对照此次过程实况, 下游的恒发站在 16:56 出现了 7 级左右的大风, 从识别出 MARC 到大风出现有 14 min 的提前量。

4.3 垂直累积液态水含量(VIL)与冰雹指数(HI)

美国对 400 多个冰雹事件统计发现, 冰雹直径随 VIL 的增大而增大, 45 kg/m^2 以上的 VIL 一般产生 1.9 cm 以上的冰雹, 55 kg/m^2 以上的 VIL 一般产生 3 cm 以上的冰雹^[12]。

图 5(见第 5 页)是郑州雷达的垂直累积液态水含量(VIL)。15:32, 范县南部部分乡镇 VIL 最大值为 48 kg/m^2 ; 15:44(图 5a), 跃增至 68 kg/m^2 ; 15:50(图 5b), 达到最大值 70 kg/m^2 。较大的 VIL 值($>65 \text{ kg/m}^2$)维持两个体扫开始降雹, 降雹期间 VIL 一直维持在 55 kg/m^2 以上(图 5c), 降雹结束后范县境内的 VIL 降至 13 kg/m^2 (图 5g), 较大的 VIL 中心移入山东境内。对照降雹时段可以看出, 这次过程中大冰雹落区与 VIL 大值区有较好的对应关系。

从郑州雷达冰雹指数(HI)叠加风暴属性表(图略)可见, 15:26, 在范县西南部部分乡镇识别

有冰雹指数, 风暴代号为 E0, 大冰雹发生概率为 20% , 15:32 为 70% , 15:38 为 80% , 15:44 为 100% 。可降最大冰雹直径从 12.7 mm 逐渐增大到 63.5 mm 。大冰雹发生概率达 100% 维持两个体扫后开始降雹, 降雹后大冰雹发生概率稍有减小, 但都在 70% 之上, 冰雹发生概率一直在 100% , 而可降最大冰雹直径为 $38\sim 50 \text{ mm}$ 。虽然冰雹指数虚警率较高, 但当冰雹发生概率为 100% , 且可降最大冰雹直径在 10 mm 以上, 并呈增大趋势时, 对出现冰雹甚至出现大冰雹有预警意义。

5 结论

(1) 该次濮阳东部地区的强冰雹天气是东北冷涡后部西北气流携带冷空气东移南压过程中造成的; 高空急流和中低层切变线的存在、上干下暖湿的不稳定层结及高空冷平流作用导致了本次强对流天气的发生; 强冰雹天气出现在暖低压与冷空气交汇的区域, 地面辐合线是这次强冰雹天气的触发机制。

(2) 较大的对流有效位能、中等强度垂直风切变、合适的 0°C 层和 -20°C 层高度等等都有利于强冰雹天气的发生。

(3) 强冰雹天气是由对流单体发展为超级单体时发生的, 径向速度图上, 中气旋、大风区和辐合系统的出现, 为监测预警强风暴天气提供可靠依据; 较大的 VIL 出现与维持预示有出现大冰雹的潜势, 大冰雹落区与垂直累积液态水含量大值区有较好的对应关系; 当冰雹发生概率为 100% 时, 且可降最大冰雹直径在 10 mm 以上, 并呈增大趋势, 对出现冰雹甚至出现大冰雹有预警意义。

参考文献:

- [1] 王华, 孙继松, 李津. 2005 年北京城区两次强冰雹天气的对比分析[J]. 气象, 2007, 33(2): 49-56.
- [2] 苏爱芳, 梁俊平, 崔丽曼, 等. 豫北一次局地冰雹天气的预警特征和触发机制[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(6): 1-7.
- [3] 张霞, 周建群, 申永辰, 等. 一次强冰雹过程的物理机制分析[J]. 气象, 2005, 31(4): 13-17.
- [4] 牛淑珍, 鲍向东, 乔春贵, 等. 强对流风暴新一代雷

达产品特征分析[J]. 气象,2008,34(7):92-100.

- [5] 袁鹏飞,姬鸿丽,刘文玲. 一次罕见大冰雹天气的新一代天气雷达回波分析[J]. 气象与环境科学, 2012,35(1):62-66.
- [6] 张一平,牛淑珍,席世平,等. 东北低涡槽后型河南强对流过程的天气学特征分析[J]. 暴雨灾害, 2011,30(3):193-201.
- [7] 河南省气象局. 河南省天气预技术手册[G]. 郑州: 河南省气象局,2016:94-184.
- [8] 王春玲,崔力,许庆娥,等. 濮阳市一次大暴雨过程成因分析[J]. 陕西气象,2017(4):6-10.
- [9] 杜丽娅,许庆娥. 2014-07-14 豫北局地冰雹机制分析[J]. 陕西气象,2015(5):21-27.
- [10] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1981:416.
- [11] 俞小鼎. 强对流天气临近预报[G]. 北京:中国气象局培训中心,2011:71.

[12] 章国材. 强对流天气分析与预报[R]. 北京,中国气象局,2011.

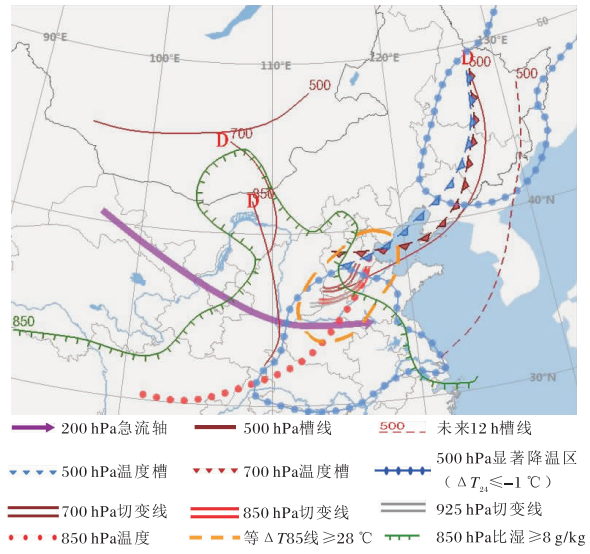


图1 2016-06-13T08 高空综合形势分析图(文见第2页2)

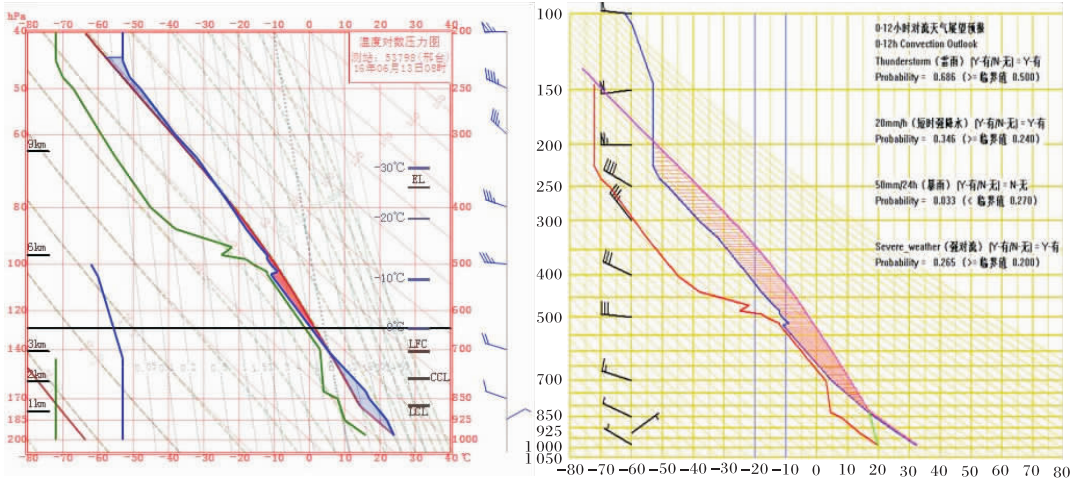


图2 2016-06-13T08 邢台(a)和利用范县14时温度露点订正后的邢台(b)探空图(文见第2页3)

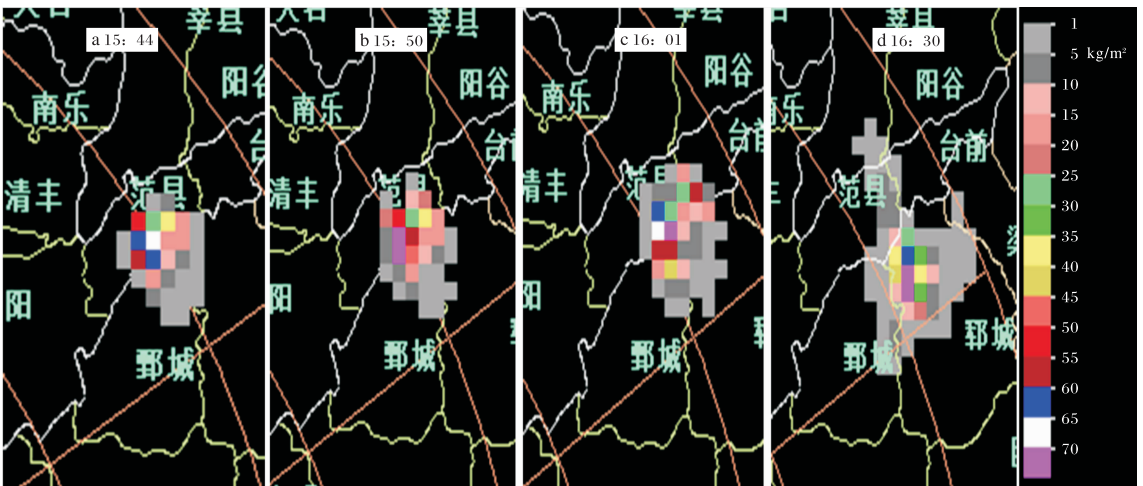


图5 2016-06-13 郑州雷达垂直累积液态水含量 VIL(单位为 kg/m^2 , 文见第4页4.3)

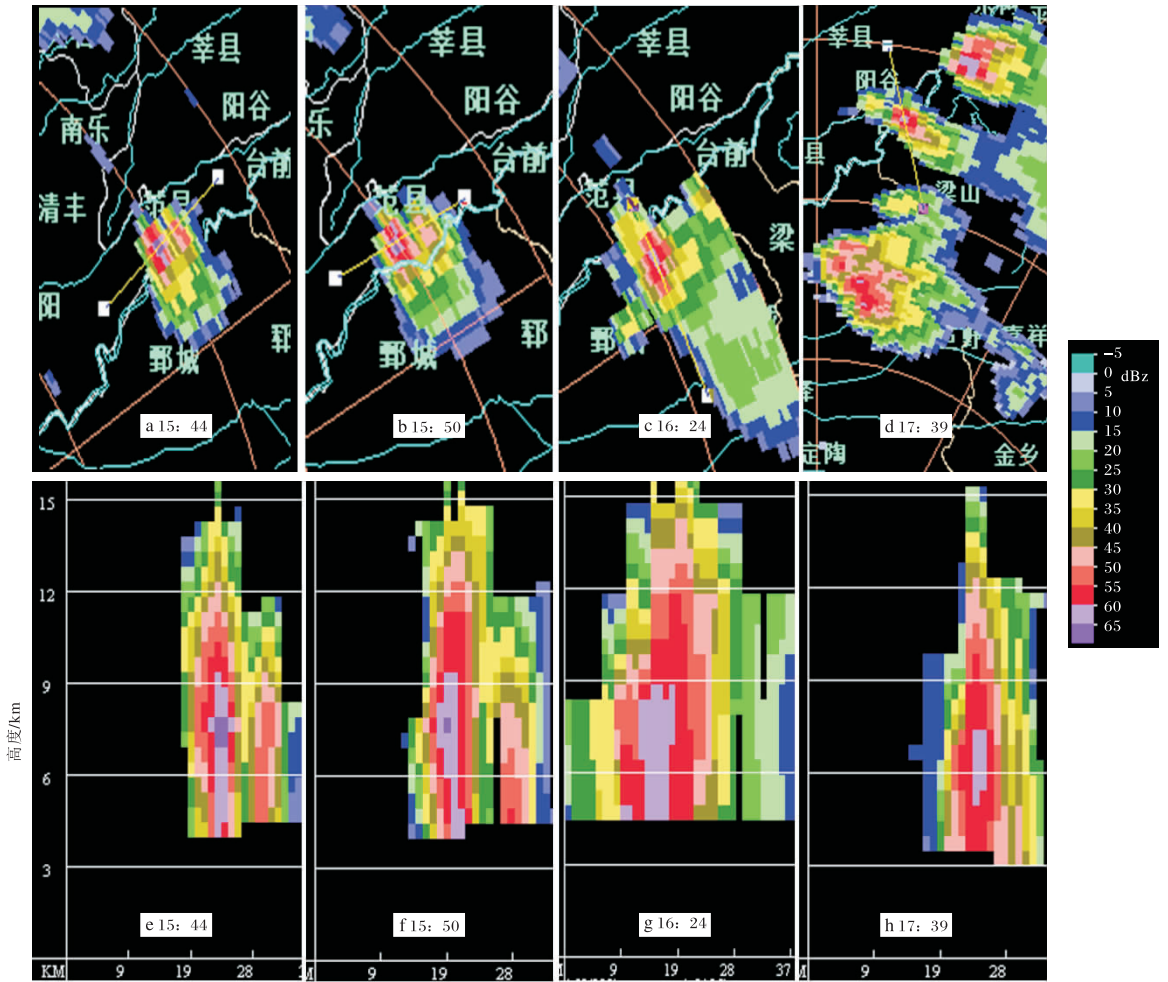
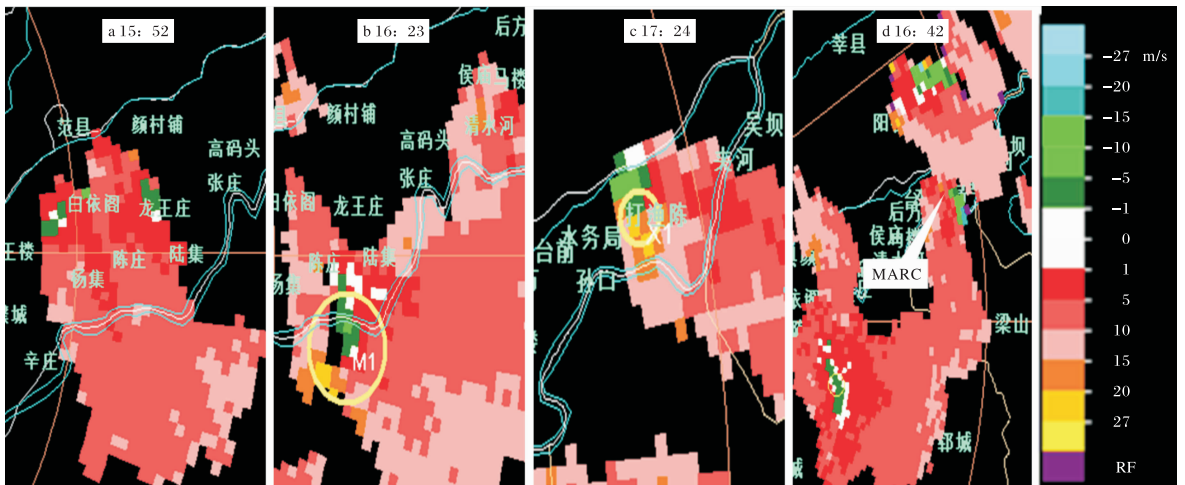


图3 2016-06-13 雷达 1.5°仰角基本反射率(郑州:a-c;商丘:d;每圈距离为 50 km)及对应时刻沿雷达最强反射率因子核心(细黄线)的垂直剖面(郑州:e-g;商丘:h;文见第3页4.1)



每圈距离为 50 km,黄色圆圈是中气旋位置。

图4 2016-06-13 濮阳雷达 2.4°仰角(a-c)和 1.5°仰角(d)径向速度图(文见第4页4.2)