沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第16卷 第3期
2022年6月

王清川,刘艳杰,周涛,等.河北省廊坊"6·25"超级单体雷达回波特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(3):54-61.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.03.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

河北省廊坊"6·25"超级单体雷达回波特征分析

王清川[1,2],刘艳杰[1],周　涛[1],东高红[3*],黄浩杰[1],李　娜[1]
(1.河北省气象与生态环境重点实验室,河北　石家庄 050021;2.廊坊市气象局,河北　廊坊 065000;
3.天津市气象台,天津 300074)

摘　要:根据常规观测、北京和天津多普勒天气雷达探测等资料,对2020年6月25日夜间发生在河北省廊坊市一次强对流天气过程进行分析。结果表明:高空冷涡前部高空槽叠加地面冷锋系统是此次超级单体风暴发生的背景条件,高*CAPE*值、强垂直风切变以及适当的0 ℃层和-20 ℃层高度等为其发展、维持提供了有利的环境条件。超级单体属于右移强风暴,发展演变过程中回波形状不断变化,中气旋特征持续存在,回波垂直结构呈现回波墙—回波悬垂和有界弱回波区—三体散射和旁瓣回波等典型超级单体雷达回波特征。55 dBZ及以上强回波迅速向高层伸展后迅速下降并配合较低的强回波质心高度,预示地面将出现大冰雹和灾害性大风;*VIL*最大值达到55 kg/m^{2}可以作为本地发布冰雹预警的指标,发布冰雹预警时间可以提前12 min;将*VIL*值升到40 kg/m^{2}作为地面灾害大风预警指标,发布雷暴大风预警的提前量为24 min。三维空间图像可以直观地展现出超级单体的空间结构。

关键词:多普勒雷达;中气旋;超级单体;雷达回波特征
中图分类号:P458.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-0799(2022)03-0054-08

超级单体风暴作为发展最为旺盛的对流风暴系统,内部结构组织化程度非常高,通常会引发一种或多种灾害性天气,造成巨大的经济损失甚至是人员伤亡,所以一直是灾害性天气领域的重要研究对象。随着多普勒天气雷达技术的发展,对超级单体风暴的研究不断深入,认识也不断加深。20世纪60—70年代,Browning等[1-2]做了开创性的研究,根据天气雷达的反射率因子特征定义了超级单体的概念,并指出超级单体在反射率因子上具有弱回波区或有界弱回波区。Donaldson[3]首次利用多普勒天气雷达观测到超级单体的中气旋结构。而国内新一代天气雷达网的建成,为超级单体风暴形态特征的研究提供了有利支撑。基于典型个例,气象工作者发现超级单体风暴存在钩状回波、有界弱回波区、回波墙、悬垂回波、中气旋、后侧入流缺口等特征[4-8]。郑媛媛等[9]进一步发现超级单体左前方的低层反射率因子常呈现明显的倒"V"字型结构。王爽等[10]发现强降水超级单体中存在着中到强的垂直风切变利于其发展。俞小鼎等[11]研究认为龙卷出现在"S"形回波阶段。陈秋萍等[12]发现长生命史超级单体风暴中气旋的维持保证了一支强上升气流支撑空中大冰雹的增长,维持了风暴的持续发展。还有研究指出超级单体风暴造成的雷暴大风过程中雷达回波常显示出中低层的径向速度辐合和地面大风核[13-14]。河北省也是强对流天气多发区,由超级单体风暴引发的冰雹、灾害性大

收稿日期:2021-06-07;**修回日期**:2022-03-28
基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-012);廊坊市气象局科技项目(201902)
作者简介:王清川(1978—),男,高级工程师,主要从事灾害性天气短临预报预警研究。E-mail:hblfwqc@163.com
通信作者:东高红(1971—),女,正高级工程师,主要从事城市气象和中尺度天气预报技术研究。E-mail:qwerty8825@sina.com

风等强天气常常造成严重的财产损失，甚至是人员伤亡[15-17]。裴宇杰等[15]研究发现超级单体的 *VIL* 高值维持时间越长、冰雹直径越大,降雹范围越大。王福侠等[16-19]研究发现强降水超级单体风暴演变可以归结为普通单体、强降水超级单体及弓形回波 3 个阶段,属于典型的右移风暴。

上述研究对提高超级单体风暴的认识，提升雷达在灾害性天气短临监测、预警业务中的应用能力起了积极作用。但是,由于超级单体多普勒雷达回波特征结构复杂，仍然需要气象工作者从不同角度对更多的典型个例开展研究。2020 年 6 月 25 日夜间超级单体风暴横扫北京东南部、廊坊中部及天津西南部地区,各地先后出现冰雹、雷暴大风、短时强降水等强对流天气,造成严重经济、财产损失。本文主要利用北京和天津多普勒天气雷达探测资料等对灾害性天气过程中超级单体风暴的雷达回波演变等特征进行分析,以期提高分灾种、落区、强度等精细化预警能力。

1　资料来源

本文使用 2020 年 6 月 25 日 08 时—26 日 08 时(北京时、未特别说明下同)常规观测、北京和天津多普勒天气雷达探测等资料，所用分析数据均经过质量控制。两部雷达所处位置见图 1a。

2　天气概况和环流形势

2.1　天气实况

2020 年 6 月 25 日夜间，北京东南部至廊坊中部到天津西南部地区先后出现冰雹、雷暴大风和短时强降水等强对流天气，在廊坊辖区内冰雹和雷暴大风等灾害性天气主要出现在 21:30—22:30,自动站监测到的最大风速为 28.5 m/s(11 级)、最大小时雨强为 50.4 mm/h(图 1a),廊坊市广阳区西部、安次区南部、永清县东部和霸州市东部等多地出现冰雹,最大直径>2 cm。据不完全统计,仅在廊坊地区造成的直接经济损失达 48 945.6 万元。

2.2　环流背景

6 月 25 日 08 时,500 hPa 冷涡位于内蒙古中部与蒙古国交界处,高空槽分为南北两段,北段南伸至内蒙古和山西交界处，南段由京津地区向南伸到山东至江西西南,廊坊处于南段槽区里。700 hPa 北段槽线和 500 hPa 槽线位置重合；南段高空槽已经移到东部海上,廊坊处于南段槽后,由西北气流控制。850 hPa 北段槽线位于内蒙古中部—山西西北部—陕西北部一带,南段槽也已移到东部海上,此时廊坊位于北段槽前,为西南气流控制。从槽区位置高低空配置看,700 hPa 槽落后于 850 hPa 槽，中低层表现为略后倾形势。地面图上冷锋位于内蒙古中部至陕西北部。20 时(图 1b),500 hPa 冷涡东移南压至内蒙古东部,北段高空槽略东移、南段高空槽已移至东部海上,廊坊处于南段槽后西北气流里,存在有明显的冷平流;700 hPa 北段槽东移至内蒙古东部到河北西部一带,而 850 hPa 北段槽位置稳定少动,对比 08 时 500 和 850 hPa 高低两层的北段槽基本少动,而 700 hPa 槽却快速东移，由相对于 850 hPa 槽位置略后倾演变为前倾的不稳定形势。从 850 hPa 湿度和温度的分布可知廊坊正好处于暖湿区内。地面图上冷锋随时间东移,20 时已移到廊坊西侧，廊坊处于冷锋前。通过上述分析可知,20 时廊坊正好处于高空槽前，且表现为 700 hPa 槽前倾和上干冷下暖湿的不稳定层结,同时配合地面冷锋的存在,才导致此次强对流天气的发生。

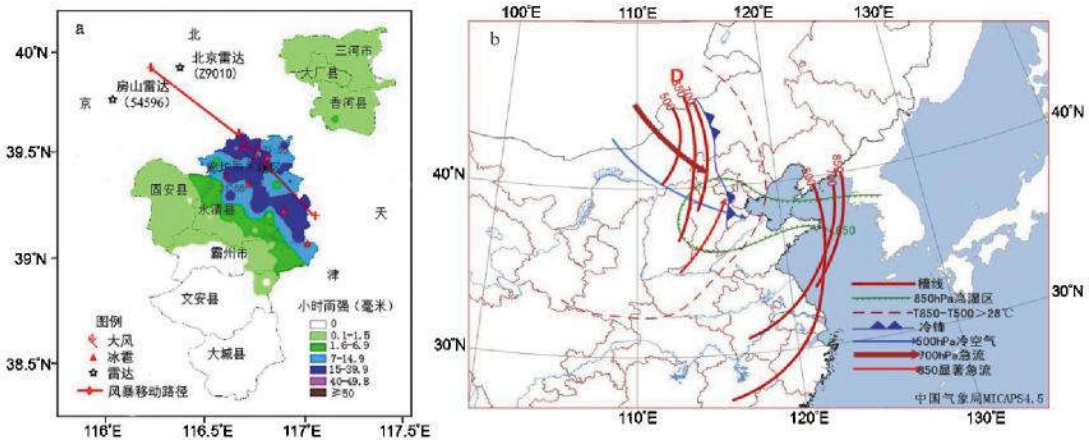

图 1　2020 年 6 月 25 日 20:00—26 日 00:00 最大小时雨强分布与灾害性天气极大值出现时间(a)和 25 日 20:00 中尺度特征分析(b)

2.3 不稳定条件

由北京站探空资料(图 2)可知,*CAPE* 值由 25日 08 时的 826 J/kg 增大到 14 时的 1 528 J/kg(图 2a),*K* 指数由 30 ℃增大到 33 ℃;20 时之前北京地区已经出现强对流天气，在不稳定能量得以释放的前提下,*CAPE* 值达 1 073 J/kg,*K* 指数增大到 36 ℃,这说明本地存在很强的不稳定层结。14 和 20 时整体呈上干下湿的喇叭口结构,700 hPa 以上为西北气流、以下为西南气流,且 850 hPa 及以下比湿>10 g/kg、$T_{850-500}$ 达到 28 ℃左右,大气层结表现为上干冷下暖湿的不稳定层结;同时垂直风切变随时间不断增大,0~6 km 垂直风切变由 08 和 14 时的 11.0 m/s 增大到 20 时的 25.6 m/s；另外 14 和 20 时的抬升凝结高度均较低、分别为 836.7、886.4 m,0 ℃层和–20 ℃层高度也较低,分别为 3.8、6.7 km,两层高度差 <3 km。这些物理量参数特征表明，廊坊地区大气的垂直条件存在着强不稳定,非常有利于冰雹、雷暴大风等强对流天气发生发展;同时 *CAPE* >1 500 J/kg 和强垂直风切变(0~6 km 为 25.6 m/s)、上干冷下暖湿的层结和较低的抬升凝结高度等都满足 Moller 等[20]研究给出的超级单体发生环境的主要条件，说明该地发生发展成超级单体风暴的概率很大。

3 超级单体多普勒雷达回波特征

3.1 雷达回波演变特征

利用北京多普勒天气雷达资料分析此次超级单体风暴的回波演变特征可知,6 月 25 日下午不断有回波单体东移发展影响北京地区,20 时合并加强的回波在雷达西北侧 50 km 附近发展为一个弓形状回波带。随时间演变回波带中间逐渐减弱、而两端回波单体迅速发展加强。20:24 两端回波的中心强度均达到 60 dBZ,2 个体扫后,20:36 弓形状回波带两端形成 2 个强回波单体，北端强回波单体东移减弱消散，南部强回波单体在向东南移动过程中发展加强。21 时,强回波单体移至北京大兴中北部,中心强度达到 65 dBZ 以上,且从低层到高层不同仰角强回波中心位置向下风方倾斜，低层仰角入流区出现弱回波区、高层仰角出现强回波悬垂,同时在 6.0°仰角出现弱三体散射现象。下一体扫 0.5°仰角回波单体中心强度达 60 dBZ,距地面高度仅有 1.2 km,且强回波中心位置随高度向下风方倾斜更加明显,在 6.0°仰角回波中心强度达到 65 dBZ 以上,同时 3.4~6.0°仰角均出现三体散射现象,6.0°仰角最为明显(图 3a)。21:18(图 3a),该超级单体继续发展加强,65 dBZ 以上强回波中心贯穿各层仰角且范围不断增大,三体散射、旁瓣回波、有界弱回波区等超级单体雷达特征更加明显,并一直持续到 21:30 之后(图 3c),持续时间长达半个小时。随后超级单体继续东移,强度略有减弱,三体散射和旁瓣回波现象也略有减弱,回波中心区后侧开始出现 V 型缺口,回波外观形态发生变化。21:48 超级单体回波发展演变为一弓形回波(图 3d),回波中心强度达 65 dBZ 以上,三体散射现象再次明显且在弓形回波外侧出现 2~3 个三体散射现象,说明弓形回波上至少有 2~3 个强回波中心。之后的近 50 min 里弓形回波保持 60~65 dBZ 强度向东南方向移动，南段强回波中心范围较大,对应速度图上有中气旋(图 3e)。22:36(图 3f),弓形回波北段回波略有减弱，南段回波中心强度一直维持在 65 dBZ 以上,23:06 南段回波发展演变为一尺度较小的弓形回波、中心最大强度仍然维持在 65 dBZ 以上,这期间速度图上强回波中心位置一直有中气旋,说明弓形回波带上不断有超级单体生成,20 min 后弓形回波带减弱为普通回波并于 1 h 后减弱消失。

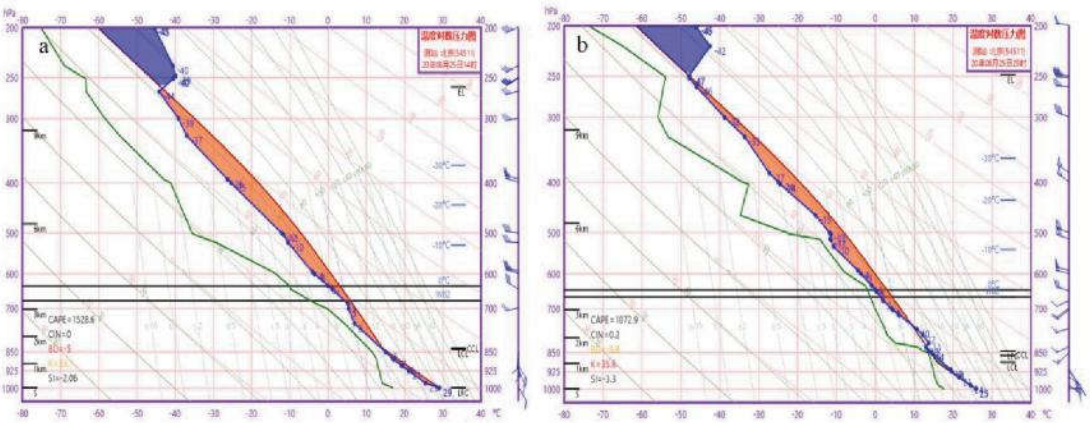

图 2 2020 年 6 月 25 日 14 时(a)和 20 时(b)北京站探空曲线

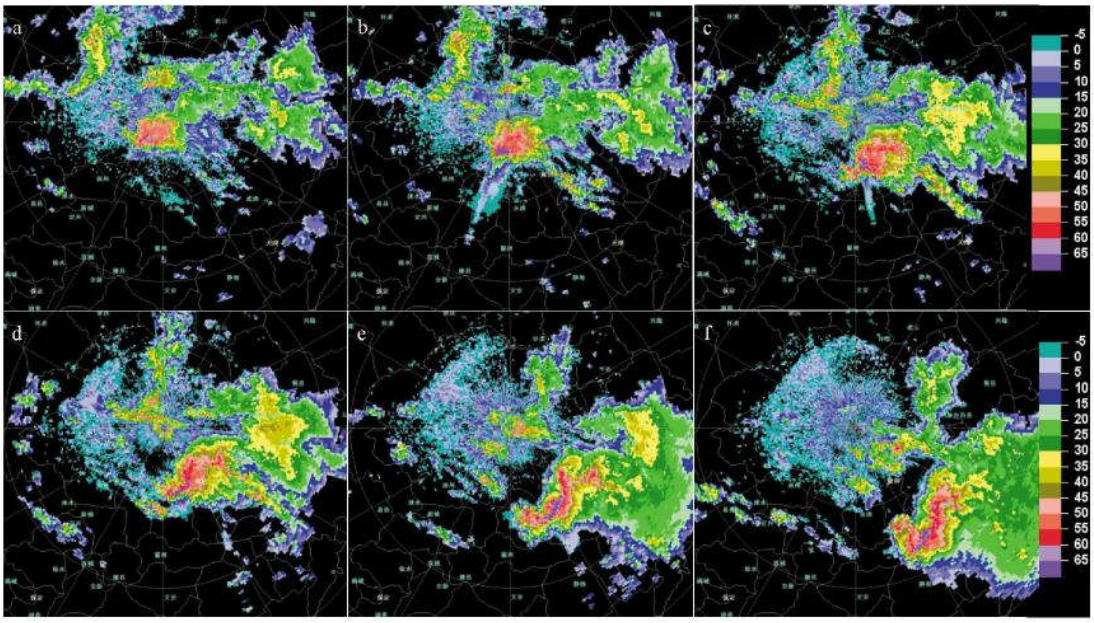

图 3　2020 年 6 月 25 日北京雷达 2.4°仰角基本反射率因子
(a 为 21:06,b 为 21:18,c 为 21:36,d 为 21:48,e 为 22:12,f 为 22:36)

此次超级单体风暴的发展演变特征为先由弓形状回波断裂南段发展为超级单体随后又演变为弓形回波，且弓形回波南段仍镶嵌有较小尺度超级单体。影响廊坊前后的时间(21:00—22:30)正是成熟超级单体维持并向弓形回波演变阶段。

3.2　超级单体回波特征

由于超级单体进入廊坊市后距离北京雷达站仅 30 km 左右，用北京雷达无法完整观测到超级单体回波的高层垂直结构和中气旋结构特征，所以改用北京下游的天津雷达做进一步分析。

由天津雷达观测分析可知，单体回波发展非常迅速,21:06 回波中心强度达 65 dBZ,从 0.5°仰角到 2.4°仰角出现明显三体散射和旁瓣回波特征，此时雷达已经自动识别出中气旋(图 4a)。由图 4b 可知，1.5°~2.4°仰角中气旋特征明显，而 0.5°仰角为纯辐合、正负速度差值为 15 m/s;3.4°仰角以上呈强烈辐散,对比看到高层辐散明显大于低层辐合,非常有利于超级单体内部的上升运动。下一体扫(图 4c~4f)单体中心 65 dBZ 强回波范围明显加大、三体散射和旁瓣回波特征更加明显,此时雷达自动识别出大、小镶嵌的 2 个中气旋，同时低层和高层仰角的辐合和辐散更强,说明此时超级单体还在继续加强发展中。由过强回波中心沿雷达径向方向、垂直径向方向分别做反射率因子(图 4g)及径向速度垂直剖面(图 4h) 可知，单体回波存在典型的有界弱回波区 BWER(穹隆)和强大的回波悬垂结构,有界弱回波区的水平尺度约 5~7 km,强回波(60~65 dBZ)沿着 BWER 左侧向下延伸形成一个向下风方倾斜的强大回波墙,从 9 km 高度向下一直延伸到近地层,其中下部代表冰雹下降区域,超级单体回波顶高接近 14 km。

由图 5 可知，小的中气旋正负速度对中心距离仅有 2~4 km,正负最大速度值分别为1、-15 m/s,大的中气旋正负速度对中心距离仅有 15~18 km,正负最大速度值分别为 1、-37 m/s（负速度出现速度模糊，利用去速度模糊公式 [21] 计算得到最大负速度值)。之后超级单体回波强度一直维持在 0~65 dBZ,中气旋特征也一直存在。21:24 单体中心最大回波强度仍然维持在 65 dBZ,三体散射和旁瓣回波特征仍非常明显(图 5a)。从过强回波中心沿雷达径向方向作反射率因子的剖面图上看到，在 4、8 km 左右的不同高度上出现双三体散射现象(图 5b),这说明超级单体内上升气流异常强盛，不但 4 km 高度有大粒子冰雹，较大粒子冰雹还被输送到 8 km 高度以上，而 30~40 km 长的三体散射长钉尾也反映了雹云强度非常大，而且从图 4g 和图 5b 上都可以明显的看到，超级单体强回波随高度向下风方（右前侧)倾斜,这与王福侠等[22]总结出的右移超级单体风暴类型相符。从对应径向速度图可知,1.5°~3.4°仰角(图 5c 为 1.5°仰角)上,正负速度对的最大正速度为 5 m/s、最大负速度均出现速度模糊,速度退模糊后最大负速度分别达到-24、-37 和-42 m/s,从旋转速度和距离看,达到强中气旋级别。

从过强回波中心沿垂直雷达径向方向做径向速度垂直剖面(图 5d)可以看到中气旋的正负速度对。之后超级单体回波中心强度一直维持在 60~65 dBZ，三体散射和旁瓣回波及中气旋特征也一直存在。3 个体扫后到 21:42,单体中心最大回波强度仍为 60 dBZ,但范围明显减小,同时三体散射和旁瓣回波特征有所减弱，对应回波形态演变和上面分析可知,此时正好对应超级单体向弓形回波演变过程。下一体扫三体散射和旁瓣回波特征再度明显，随后 21:48—22:06、22:12—22:30,又两次出现三体散射和旁瓣回波特征增强后迅速减弱的现象。对应实况，这与地面灾害性大风和冰雹的出现时间有很好的对应关系。而雷达自动识别出中气旋的特征一直持续到 23:18(图 5e、5f),这说明后面虽然超级单体演变为弓形回波，但弓形回波带上仍镶嵌有尺度略小的超级单体，而径向速度图上中气旋的反复出现也说

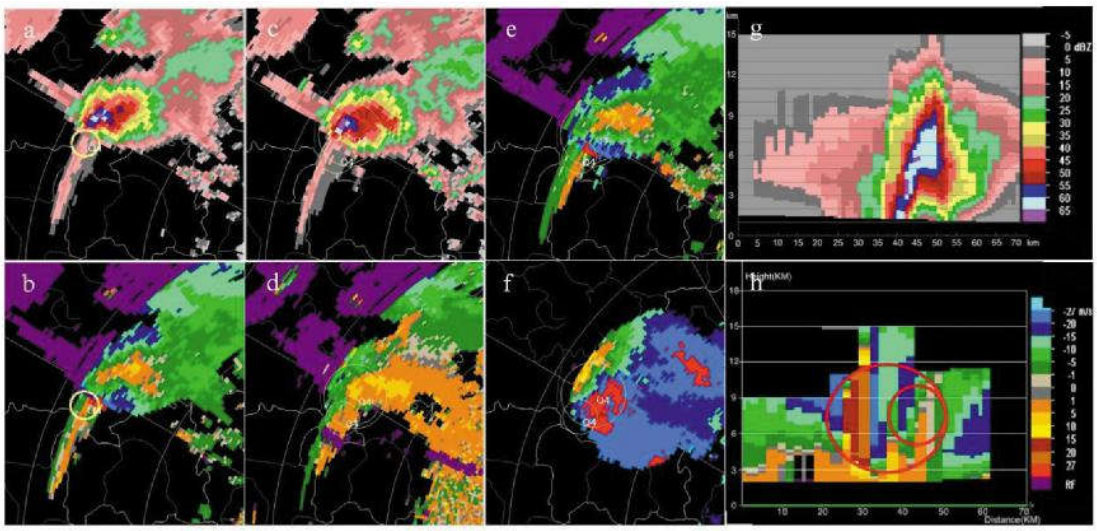

图 4　2020 年 6 月 25 日 21:06 和 21:12 天津多普勒雷达反射率因子和径向速度

(a、b 分别为 21:06 1.5°仰角反射率因子和径向速度,c 为 21:12 1.5°仰角反射率因子,d、f 为 21:12 1.5°和 2.4°径向速度,g、h 分别为 21:12 过中气旋中心沿雷达径向和垂直雷达径向方向的反射率因子和径向速度垂直剖面,h 中圆圈为嵌套的两个正负速度对;黄色圆圈为雷达自动识别中气旋)

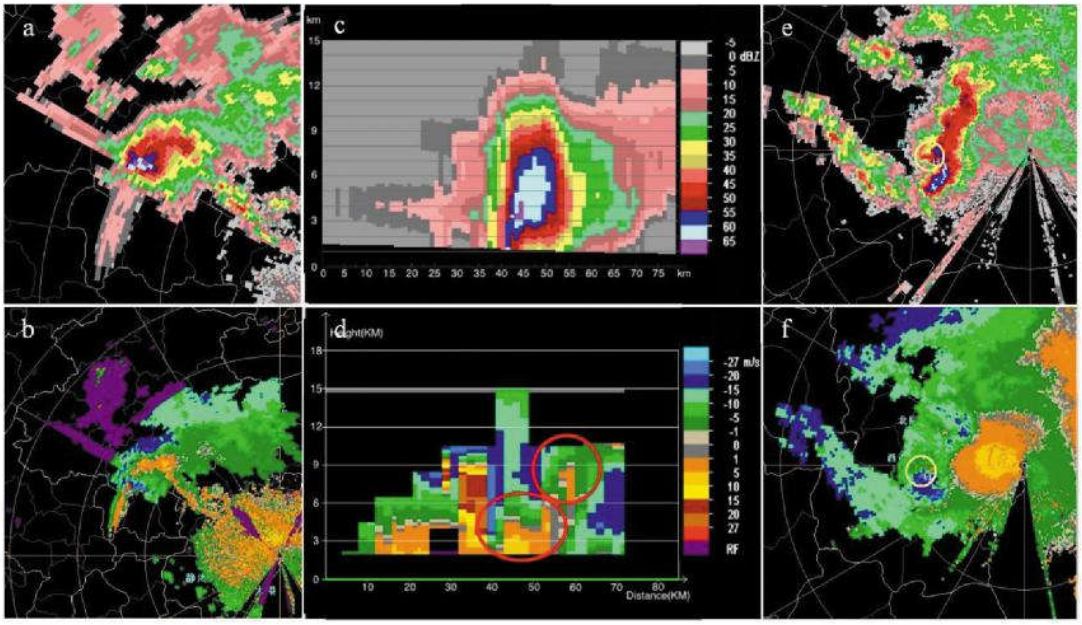

图 5　2020 年 6 月 25 日 21:24 和 23:18 天津多普勒雷达反射率因子和径向速度

(a、b 分别为 21:24 1.5°仰角反射率因子和径向速度,c、d 分别为 21:24 过强回波中心沿雷达径向和垂直雷达径向方向的反射率因子和径向速度垂直剖面,d 中圆圈为嵌套的两个正负速度对,e、f 分别为 23:18 1.5°仰角反射率因子和径向速度;黄色圆圈为雷达自动识别中气旋)

明雷暴内始终有一支强盛的上升气流支撑使得超级单体风暴不断发展和维持。

3.3 垂直积分液态水含量(*VIL*)

垂直积分液态水含量(*VIL*)的增大和减小虽然不是超级单体风暴的雷达回波特征，但其值大小和随时间的变化可很好地预示冰雹及地面灾害性大风的发生。6 月 25 日 21:12 之前,随着强回波发展东移,垂直积分液态水含量(*VIL*)最大值和范围起伏波动,21:18 最大值达 42.5 kg/m^2(图 6),随后 2 个体扫,40 kg/m^2 以上范围增大。21:36*VIL* 中心最大值达到阶段最大后迅速下降到阶段最低值,随后 *VIL* 中心最大值又迅速增大,21:54 55 kg/m^2 以上范围也达到阶段最大。22:00—22:30,*VIL* 最大值再次出现骤升到阶段最大(22:12 最大为 70 kg/m^2)后又迅速下降到阶段最低点(22:24 降到 52.5 kg/m^2),2 个体扫最大值降幅达 17.5 kg/m^2，之后又出现迅速增大的波动变化特征。对应实况,21:30—22:30,廊坊辖区内多个自动站出现灾害性大风，最大阵风达 28.5 m/s(11 级)。如果采用 *VIL* 值达到 40 kg/m^2 作为大风的一个预警指标[21],本次过程发布雷暴大风预警的提前量为 24 min,以 *VIL* 值达到 55 kg/m^2 作为冰雹预警指标,发布冰雹预警时间可以提前 12 min。

通过上述分析可以得到,*VIL* 值骤升到阶段最大值后出现骤降，可以作为预测地面灾害性大风即将发生的标志,而 *VIL* 最大值达到 55 kg/m^2 可以作为本地发布冰雹预警的指标。

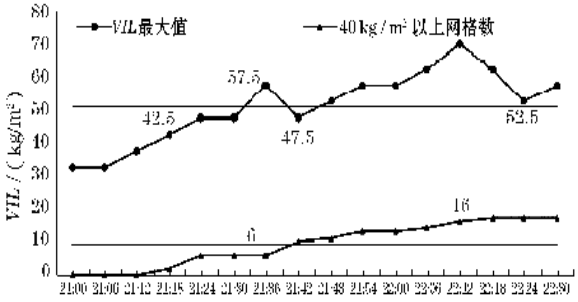

图 6　2020 年 6 月 25 日 21:00—22:30 北京多普勒雷达垂直积分液态水含量(*VIL*)

4 超级单体三维图像特征

选取造成廊坊雷暴大风、冰雹等强对流天气时的超级单体作为研究对象，对涵盖整个超级单体的北京多普勒雷达数据进行处理，得到该超级单体三维立体空间结构。图 7a 为 21:54 雷达回波 45 dBZ 以上的三维立体图像，从其左前侧可以观测到，45 dBZ 强回波墙伸展到 12 km 左右,回波墙呈现明显前倾,有显著悬垂回波,回波悬垂下方存在凹坑,是弱回波区。25 dBZ 以上三维立体图像(图 7b)的底部较中层窄而长，可以很清楚的显示出主体后侧的入流缺口,主体回波中间粗大上部略小,正前方有凹陷和悬垂凸起,凹陷区即为弱回波区,与悬垂部分一起形成有界弱回波穹窿结构，前突悬垂部分一直延伸到中上部,也就是雹云回波的悬垂部分。通过三维空间图像直观地展现出了超级单体的空间结构特征,有助于预报员更清楚地认识超级单体风暴。

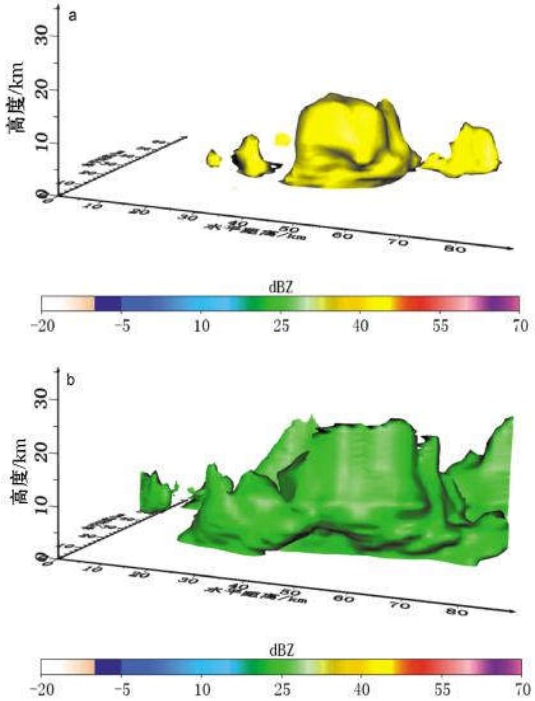

图 7　2020 年 6 月 25 日 21:54 北京多普勒雷达三维图像

(a 为 45 dBZ 以上回波,b 为 25 dBZ 以上回波)

5 结论

利用常规观测资料、北京和天津多普勒雷达探测资料等，对 2020 年 6 月 25 日夜间发生在河北省廊坊市一次强对流天气过程进行了分析，得出如下结论：

(1) 此次强对流天气是高空冷涡配合高空槽和地面冷锋共同影响造成的，天气发生前廊坊处于高空槽前且为中层 700 hPa 槽明显前倾的不稳定配置结构;高 *CAPE* 值、强垂直风切变、上干冷下暖湿的不稳定层结和适当的 0 ℃层和-20 ℃层高度等为超级单体风暴的发展维持提供了有利的环境条件。

(2)此次超级单体属于右移风暴,中气旋特征持续存在,并在超级单体成熟阶段达到强中气旋强度;回波垂直结构呈现出回波墙—回波悬垂和有界弱回

波区—三体散射和旁瓣回波等典型超级单体雷达回波特征。后期超级单体演变为弓形回波，其上镶嵌有尺度略小的超级单体。

(3)*VIL* 最大值达到 55 kg/m^2 可以作为本地发布冰雹预警的指标，发布冰雹预警时间可以提前 12 min；将 *VIL* 值升到 40 kg/m^2 作为地面灾害大风预警指标，本次过程发布雷暴大风预警的提前量为 24 min。三维空间图像可以直观地展现出超级单体的空间结构特征，有助于更清楚地认识超级单体风暴。

上述结论仅来自于一次超级单体过程的综合分析，未来还需要通过更多类似个例开展研究，对结论及指标加以检验，以获得更有预报预警意义的指标。

参考文献：

[1] BROWNING K A，LUDLAM F H.Airflow in convective storms[J].Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society，1962，88(376)：117-135.

[2] BROWNING K A. The structure and mechanisms of hailstorms[J].Amer Meteor Soc Monog，1978，38：1-36.

[3] DONALDSON R J. Vortex signature recognition by a Doppler radar[J].J App Meteor，1970，9(4)：661-670.

[4] 冯晋勤，汤达章，王新强，等.新一代天气雷达超级单体风暴中气旋特征分析[J].大气科学，2010，33(6)：738-744.

[5] 李浚河，耿建军，张淅妍，等.2013年北京地区一次强对流天气过程分析[J].沙漠与绿洲气象，2016，10(2)：25-30.

[6] 牛奔，张家国，吴涛，等.鄂西北一次超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析[J].暴雨灾害，2016，35(1)：45-52.

[7] 朱义青，胡顺起.山东中西部一次长生命史超级单体雷达回波特征和触发机制分析[J].沙漠与绿洲气象，2021，15(1)：54-61.

[8] 罗辉，苟阿宁，康岚，等.四川盆地一次中反气旋超级单体的雷达回波特征研究[J].气象，2020，46(10)：1362-1374.

[9] 郑媛媛，俞小鼎，方翀，等.一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析[J].气象学报，2004，62(3)：317-328.

[10] 王爽，吕环宇，郭志刚.一次强降水超级单体风暴过程分析[J].气象与环境学报，2007，23(2)：15-25.

[11] 俞小鼎，郑媛媛，廖玉芳，等.一次伴随强烈龙卷的强降水超级单体风暴研究[J]大气科学，2008，32(3)：508-522.

[12] 陈秋萍，陈齐川，冯晋勤，等."2012.4.11"两个强降雹超级单体特征分析[J].气象，2015，41(1)：25-33.

[13] 周后福，李耀东，赵倩，等.超级单体引发的一次大风风速估算及其机理探讨[J].沙漠与绿洲气象，2019，13(3)：16-24.

[14] 刘希文，李得勤，韦惠红，等.2013年湖北地区两次雷暴大风过程环境及雷达回波特征 [J]. 气象与环境学报，2018，34(1)：1-10.

[15] 裴宇杰，王福侠，李云川.河北中南部两次超级单体雷达特征对比分析[J].气象科技，2006，34(增)：99-104.

[16] 王福侠，裴宇杰，杨晓亮，等."090723"强降水超级单体风暴特征及强风原因分析 [J]. 高原气象，2011，30(6)：1690-1700.

[17] 黄兰兰.强雷电天气过程闪电定位资料分析及预警服务[J].气象与环境科学，2014，37(3)：88-93.

[18] 周亦凌，姚展予.一次积层混合云增雨作业天气条件分析和雷达回波效果检验 [J]. 气象与环境科学，2017，40(1)：11-20.

[19] 陈瑞敏，赵孝伟，于海磊，等.一次长生命史超级单体风暴的雷达观测特征[J].暴雨灾害，2021，40(4)：419-429.

[20] MOLLER A R，DOSWELL C A，PRZYBYLINSKI R. High-precipitationg supercells：A conceptual model and documentation [C].Preprints，16th Conf.on Sever Local Storms.Kananaskis Park，AB，Canada，AMS，1990：52-57.

[21] 俞小鼎，姚秀平，熊廷南，等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京：气象出版社.2006：116-122.

[22] 王福侠，俞小鼎，裴宇杰，等.河北省雷暴大风的雷达回波特征及预报关键点 [J]. 应用气象学报，2016，27(3)：342-351.

[23] 东高红，吴涛.垂直积分液体水含量在地面大风预报中的应用[J].气象科技，2007，35(6)：877-881.

Radar Echo Features for a Supercell Storm in Langfang on 25 June 2020

WANG Qingchuan[1,2],LIU Yanjie[1],ZHOU Tao[1],DONG Gaohong[3],HUANG Haojie[1],LI Na[1]
(1.Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province,Shijiazhuang 050021,China;
2.Langfang Meteorological Bureau,Langfang 065000,China;
3.Tianjin Meteorological Observatory,Tianjin 300074,China)

Abstract Based on the conventional observation and Doppler radar detection in Beijing and Tianjin,the radar echo characteristics of a severe convective weather process occurred in Langfang City,Hebei Province at the night of June 25,2020 was analyzed.It shows that,the background condition of the supercell storm is the high slot in front of high-altitude cold vortex overlapped with the ground cold front system.A favorable environment for the development of the convective weather process are also provided by a high convective available potential energy (*CAPE*)value and strong vertical wind shear as well as an appropriate altitude of the layer with temperature between 0 ℃ and 20 ℃ .This supercell storm belongs to a right-ward moving strong storm,and the echo shape changes constantly during the development and evolution process with the mesocyclone feature persistence. The vertical structure of the echo shows typical characteristics of supercell radar echo,including echo wall-hanging echo,bounded weak echo area - three body scatter signature and sidelobe echo.In this process,the strong echo of 55 dBZ and above extends to the upper level rapidly and then falls down swiftly companied with a low strong-echo centroid height,which predicts that there would be a large hail and disastrous wind near the ground.The maximum value of vertically integrated liquid(*VIL*) around 55 kg/m^2 could be used as a local indicator for issue hail warning,which could advance the hail warning time by 12 minutes.The *VIL* value up to 40 kg/m^2 could be the warning indicator of the surface disaster gale,which is capable of advancing thunderstorm gale warning time by 24 minutes.

Key words Doppler radar; mesocyclone; supercell storm; radar echo characteristics