

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.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.01.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



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

朱义青¹,胡顺起²

(1.临沂市气象局,山东 临沂 276004;2.喀什地区气象局,新疆 喀什 844000)

摘要:利用常规观测资料、多普勒雷达产品、NCEP/NCAR再分析资料和加密自动站等资料分析了2016年6月14日山东中西部地区一次长生命史超级单体的环境条件和雷达回波结构演变。结果表明,强对流发生在华北冷涡天气背景下,中层有中空急流配合的冷槽叠加在低层低空急流配合的暖脊上,中低层之间水汽和热量的平流差异不断增大。地面露点锋生和中尺度辐合线触发的对流云团在深厚的垂直风切变和强的垂直不稳定层结作用下逐渐发展成超级单体风暴。超级单体低层反射率因子呈现明显“V”型缺口,反射率因子垂直剖面呈现典型的有界弱回波区,回波悬垂和回波墙,相应的中高层径向速度呈现出一个强中气旋,旋转速度达29 m/s,中气旋的发展和维持使得超级单体发展和维持。6月,当最大反射率因子值达到60 dBZ,出现中等强度以上中气旋且VIL值和VIL密度分别达59 kg/m²和4.7 g/m³以上时,在强对流预报业务中需要注意大冰雹的出现。冰雹发生在风暴单体强中心所在高度和回波顶高下降期间。

关键词:长生命史;超级单体;多普勒天气雷达;VIL密度

中图分类号:P445

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)01-0054-08

冰雹、雷雨大风、短时强降水和龙卷等强对流天气大多是由局地对流风暴产生的,而超级单体风暴是局地对流风暴中发展最为剧烈的一种。Browning^[1]将超级单体定义为具有中气旋的对流单体,此后的雷达观测进一步证明超级单体风暴总是与中气旋相伴随,即超级单体风暴与其他强风暴的区别在于超级单体风暴含有一个持久深厚的中气旋^[2]。

近些年来,诸多气象学者围绕着超级单体风暴的结构及环境条件进行了大量的分析研究^[3-9]。万夫敬等^[10]对2017年8月6日山东东部地区一次罕见的极大风速达到12~13级的雷暴大风事件进行了

分析,研究表明较大的温度直减率和中低层强垂直风切变为雷暴大风的出现提供有利环境条件,边界层辐合线附近不断触发新的对流单体,最终形成飚线结构。牛犇等^[11]对十堰一次强超级单体风暴结构和环境场进行了分析,研究表明有利的地形条件和低层暖湿气流产生的扰动促进了超级单体爆发性增强。陈晓燕等^[12]对一次分裂型超级单体的回波结构及环境条件进行分析,指出维持较长时间的VIL大值,可以作为分析判断超级单体出现的一个依据。高晓梅等^[13]对2016年6月30日山东一次阵风锋触发的强对流天气进行了分析,指出阵风锋、中尺度辐合线及近地面层冷空气的侵入使气温骤降是触发对流的关键因素。

2016年6月14日下午一个生命史长达3 h的超级单体风暴自西向东先后影响了济南、淄博和潍坊等地(图1),沿途产生了大范围的灾害性大风、冰雹和短时强降水等天气,其生命史之长和产生灾害

收稿日期:2019-11-11;修回日期:2020-01-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41375120);环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201802);中国气象局预报员专项(CMAYBY2017-042);山东省气象局预报员专项(SDYBY2019-14)

作者简介:朱义青(1985—),男,高级工程师,从事中短期预报分析研究。E-mail: lyzhuyiqing@163.com

性天气范围之广,较为罕见。章丘国家基本气象站观测到最大冰雹直径超过 2 cm,极大风速为 21.5 m/s;山东省有 11 个中尺度气象站观测到 17 m/s 以上的大风,4 站观测到 20 m/s 以上的大风,其中淄博龙泉站观测到 36.1 m/s 的极大风速,灾情调查发现多地出现>2 cm 的冰雹。本文利用常规观测资料、济南和潍坊多普勒天气雷达资料对此次超级单体风暴的天气背景、雷达观测特征进行分析,并对本次长生命史超级单体风暴的触发机制进行探讨。

1 风暴路径及天气形势

2016 年 6 月 14 日下午到傍晚一个生命史长达 3 h 的超级单体风暴自山东齐河县境内向偏东方向移动约 160 km,风暴路径(包括风暴起始阶段)、大风及冰雹落区见图 1。

6 月 12—13 日 500 hPa 中高纬度环流形势为两槽一脊型,华北冷涡生成于蒙古中部并逐渐向东南方向移动,500 hPa 的 $T-T_d>15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的干区自甘肃

西北部,经过陕西北部、山西和河北南部伸至山东中西部。从 2016 年 6 月 14 日 08 时中尺度天气分析(图 2)可以看到,850 hPa 山东中西部地区位于 8 g/kg 的湿舌内,925 hPa 位于 12 g/kg 的湿舌内,500 hPa $>20\text{ m/s}$ 的中空急流配合干区和冷槽使中层降湿降温,850 hPa 低空急流配合着湿舌和暖脊使低层增湿增温,500 hPa 和 850 hPa 之间水汽和热量的平流差异将进一步加大,层结不稳定性显著增强。

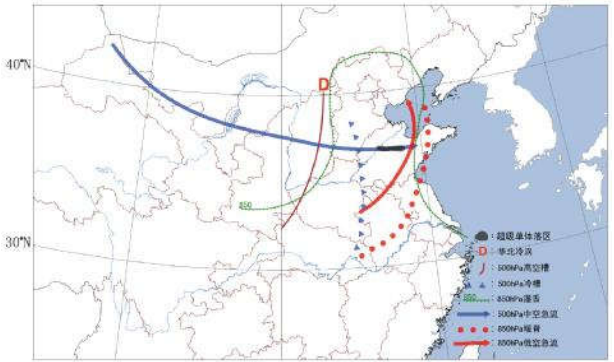


图 2 2016 年 6 月 14 日 08 时中尺度天气分析

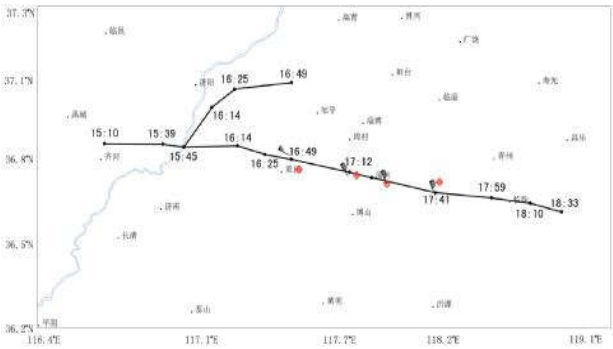


图 1 2016 年 6 月 14 日山东中西部超级单体路径、冰雹和大风分布

(◆为冰雹位置;▲为 $\geq 20\text{ m/s}$ 大风分布;“15:16”指北京时 15 时 16 分,其余以此类推)

2 强对流发生、发展的条件

假相当位温是反映稳定性和湿度条件的综合指标,可用来分析大气中的能量分布和垂直稳定度^[4]。14 日 08 时,500 hPa 以上有一条从西北伸向山东中西部的假相当位温低值舌(图 3a),舌区内盛行西北气流,低值舌加强东南伸。850 hPa 河南东部到山东西部为一条从西南向东北伸展的高能舌(图 3b),中心值在 332~336 K,高能舌区盛行西南风,说明有暖湿气流的输送,有利于高能舌继续向东北方向伸展加强。高层西北气流输送的干冷平流与低层西南气流输送的暖湿平流在山东中西部上空重叠,使山东中西部 850 hPa 与 500 hPa 之间的假相当位温差值

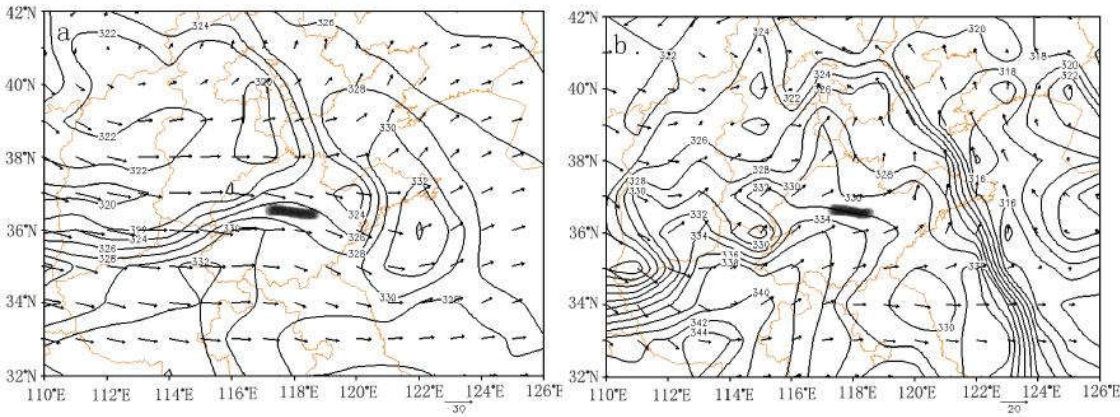


图 3 2016 年 6 月 14 日 08 时 500 hPa(a)和 850 hPa(b)假相当位温分布(阴影区为超级单体落区)

达6 K,形成较强的大气层结不稳定性。强对流天气产生在假相当位温高层低值舌与低层高值舌相叠加、大气强烈对流不稳定区域。

2016年6月14日15:16对流风暴在山东省齐河县境内生成,之后向东移动进入山东淄博市。从14日08时山东章丘探空图(图4)可以看出,870 hPa附近有一逆温层,逆温层下面相对湿度>80%,逆温层之上相对湿度快速减小,增大了中低层水汽的湿度差异,对流有效位能仅为51 J/kg,用14时地面观测值对08时探空曲线进行订正后,对流有效位能为1700 J/kg,这与阎丽凤等^[9]给出的山东西北部和中部地区产生强对流天气的平均对流有效位能868 J/kg相比偏大,说明在强对流被触发前环境大气已经具备了充足的不稳定能量。850~500 hPa出现明显的干区,湿度垂直分布为上干下湿,表明中层有干冷平流侵入。根据08时章丘探空资料计算的0~3 km垂直风切变约为10 m/s,0~6 km垂直风切变为17 m/s,较强的深厚垂直风切变,有利于倾斜对流的发展与维持。0℃层高度为4.1 km,-20℃层高度为7 km,850 hPa与500 hPa温差在>27℃。上干下湿的大气层结、强的风垂直切变、850 hPa与500 hPa温差>27℃等环境条件对强对流的发生发展有较好的指示意义,这些参数表明山东中西部附近具有较好的对流发生发展的环境条件。

下沉对流有效位能(CAPE_d)定义为:不考虑其他因素条件下,气块从垂直速度为0的起始点下沉到中性浮力层或地面时,负浮力做功引起的动能最大值^[16]。CAPE_d的大小主要与环境大气的温湿状况有关,CAPE_d的大小随相对湿度的降低而增大,对流层中层环境大气越干冷(有干冷空气的侵入)则产生强下沉气流的潜势越大。对于正在做下沉运动的气块来说,负浮力做功引起的下沉气流速度 $-W_{\max} =$

$\sqrt{2\text{CAPE}_d}$,当CAPE_d越大时,越有利于地面极大阵风的出现^[17]。6月14日08时章丘探空图表明,大气中层比较干 $(T-T_d)_{400}+(T-T_d)_{500}+(T-T_d)_{700}=48^\circ\text{C}$,温度直减率 $\gamma_{850-500}=6.3^\circ\text{C}/\text{km}$,该时刻CAPE_d高达340 J/kg,经计算得出负浮力做功引起的下沉气流速度达26.1 m/s,说明此次强对流过程利于产生较强的下沉气流,从而利于地面出现强阵风。

3 生命史演变

本次长生命史超级单体发展过程中,孤立对流云团在14日15:16在齐河县境内出现并向偏东方向移动发展,16:20在山东章丘西部发展成超级单体风暴,此后维持超级单体风暴强度并向偏东方向移动,17:59减弱为普通单体风暴,18:33在山东临朐东部减弱消亡,整个生命史为3 h 17 min。

根据本次长生命史超级单体造成的地面瞬时大风($\geq 17\text{ m/s}$)和短时强降水($\geq 20\text{ mm/h}$)等强对流天气现象的统计结果,结合雷达反射率因子图,将本次长生命史超级单体风暴演变过程分为3个阶段:(1)发展阶段(15:16—16:20);(2)成熟阶段(16:20—17:59);(3)消亡阶段(17:59—18:33)。

15:16在山东齐河县境内开始有孤立普通单体生成,单体在向偏东方向移动过程中不断发展加强。15:45在山东济阳县南部对流风暴分裂为两个独立的对流风暴,北侧对流风暴向东北方向移动,南侧对流风暴向东南方向移动并快速发展加强。16:14对流风暴中心达到了60 dBZ,风暴移向右前方低层出现与暖湿气流相关的入流“V”形缺口,对流风暴逐渐呈现出弱回波区、回波悬垂、回波墙等超级单体风暴的典型特征,16:20左右该对流风暴发展成超级单体风暴并在16:38达到最强盛阶段,6.0°仰角的最大反射率因子>65 dBZ,风暴一直伴有明显的

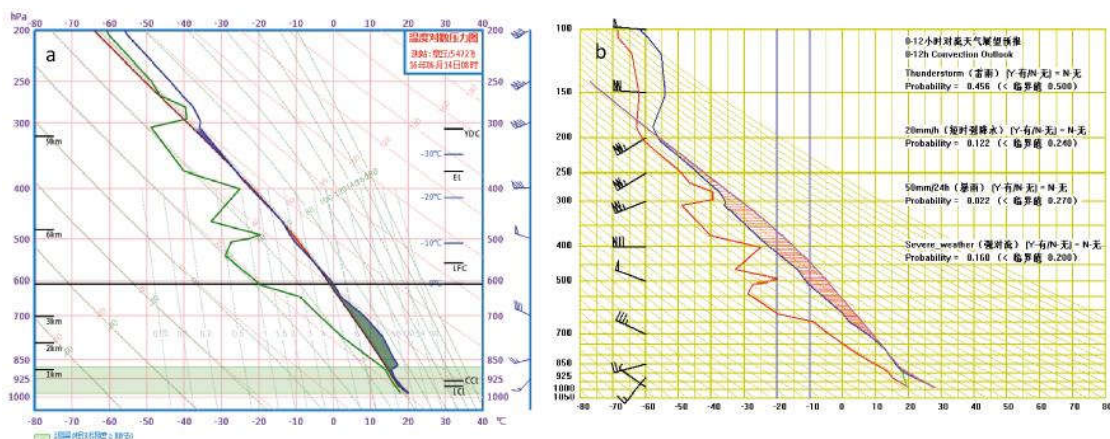


图4 2016年6月14日08时章丘站T-lnP图(a)和14时订正探空图(b)

旁瓣回波和三体散射特征(图 5),这些都是判断大冰雹产生的指标。此时山东章丘站观测到 21.5 m/s 的极大风速和直径超过 2 cm 的冰雹。17:59 前后减弱为普通对流风暴。超级单体结构特征包括“V”形缺口、弱回波区、中气旋和回波悬垂共持续 1 h 39 min。

16:38(图 6),径向速度图上的中气旋在 0.5°仰角(1.1 km)、1.5°仰角(2.5 km)、3.4°仰角(3.7 km)、4.3°仰角(6 km)、6.0°仰角(8 km)和 9.9°仰角(12 km)分别表现为纯粹的辐合、辐合旋转、无辐散旋转、辐散旋转和纯粹的辐散,8 km 高度距离雷达 100 km 处中气旋旋转速度>29 m/s,12 km 高度正负速度差达

到 57 m/s,根据中气旋旋转强度判据判断为强中气旋,这种低层辐合、中下层纯粹的旋转、中上层的辐散旋转和风暴顶部纯粹的辐散特征反映出风暴内部的强旋转上升运动,最大径向旋转速度的高度在 5~8 km。

图 7b 为沿低层入流方向通过“V”形缺口的反射率因子剖面图。对流风暴的强反射率因子从低层到高层向入流一侧倾斜,与倒“V”型缺口相对应的有界弱回波区也是自低层到高层向入流一侧倾斜,有界弱回波区水平尺度约 10 km。>65 dBZ 的反射率因子区为沿着有界弱回波区左侧的一个竖直的狭长区域,从 8 km 高度一直延伸到低层。最强的区域位于其

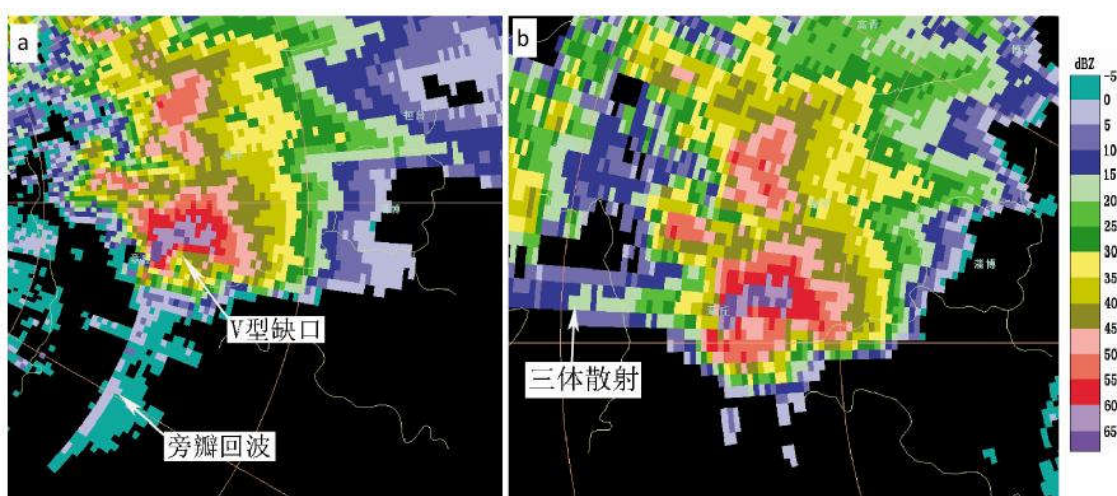


图 5 2016 年 6 月 14 日济南雷达 1.5°仰角 16:49“V”形缺口和旁瓣回波(a)、潍坊雷达 1.5°仰角 16:48 三体散射特征(b)

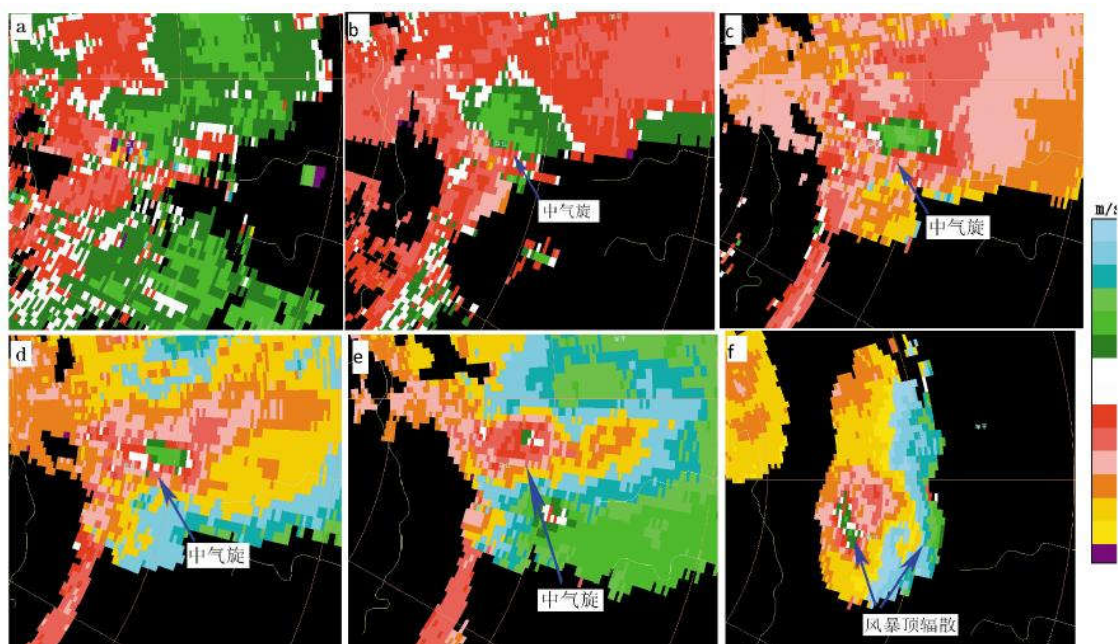


图 6 2016 年 6 月 14 日 16:38 济南雷达 0.5°仰角(a)、1.5°仰角(b)、3.4°仰角(c)、4.3°仰角(d)、6.0°仰角(e)、9.9°仰角(f)平均径向速度

上部 6 km 处,最大值>70 dBZ,回波顶接近 15 km。图 7c 为 16:49 径向速度的垂直剖面图,图中最显著的特征是 7 km 高度处存在明显的中层径向辐合,这是风暴由前向后的强上升气流和后侧入流急流之间的过渡区,且 7 km 高度附近速度差达到 46 m/s,中层径向辐合特征显著,显著的中层径向辐合特征对地面出现灾害性大风具有重要的指示意义。

4 地面触发机制

地面资料分析表明,在山东西北部地区形成的中尺度辐合线为对流的形成提供了触发条件,从地面资料场可见(图 8a),14 日 14 时前后在山东西北部一条呈西南—东北走向的中尺度辐合线,有 4 股气流在山东齐河县附近汇集(图 8b),15 时前后中尺

度辐合线中部山东齐河县境内有对流单体出现,随后不断向偏东方向扩展。分析 14 时地面露点温度可以看出,在地面中尺度辐合线附近露点温度梯度较大,存在露点锋生,辐合线的形成在触发对流的同时能够对对流系统起到组织作用,这是促使对流风暴发生的重要机制。14 日 17 时(图 8c,8d)地面中尺度辐合线呈准东西向分布,在章丘到临朐一线附近存在较明显的露点锋生。因此地面中尺度辐合线的长时间维持是本次超级单体风暴生命史较长的主要原因。

5 对流风暴参数及属性

5.1 VIL 值和大冰雹

研究表明,垂直累积液态水含量 VIL 的大值区对判断大冰雹的降雹潜势具有较好的指示意义,根

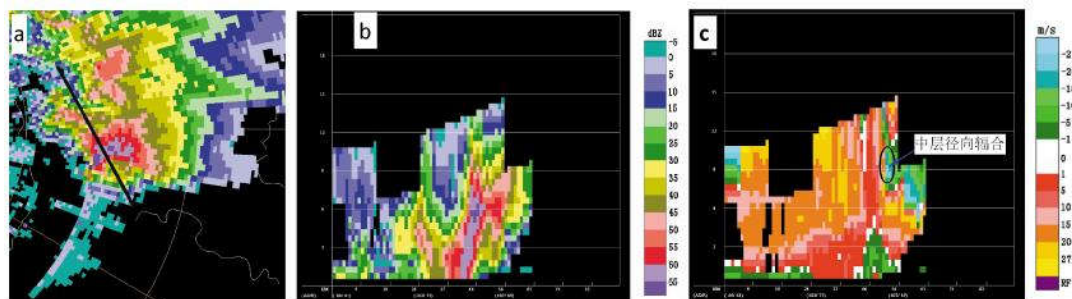


图 7 2016 年 6 月 14 日 16:49 济南雷达 1.5°仰角反射率因子图(a)及剖面(b)和径向速度剖面(c)

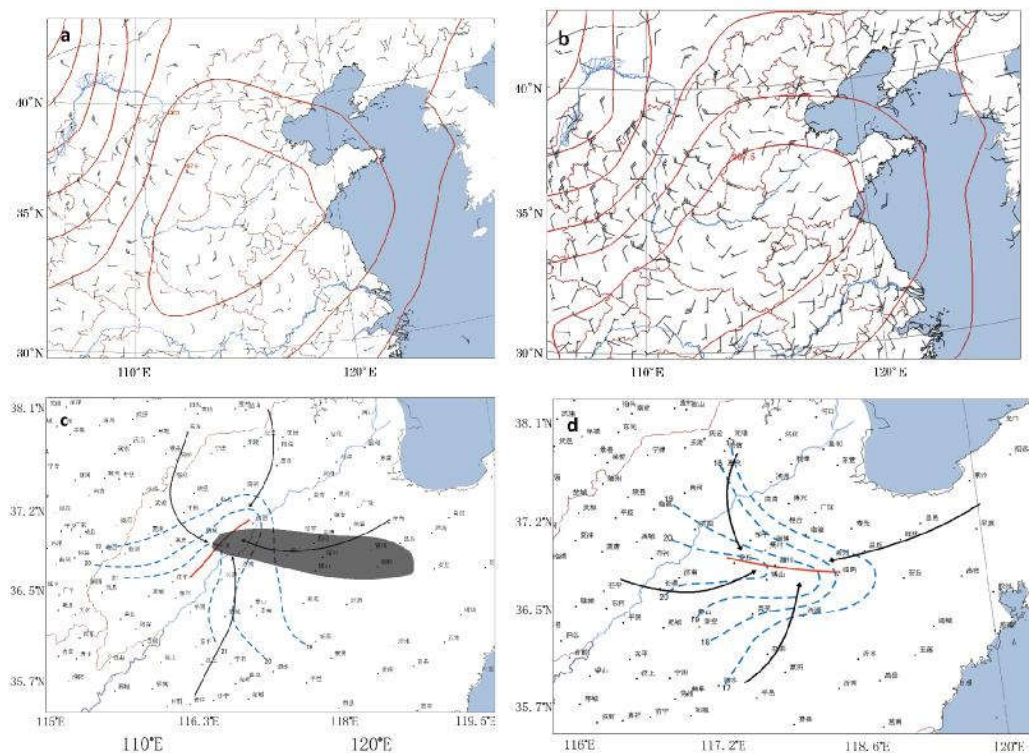


图 8 2016 年 6 月 14 日地面图(a,b)和地面中尺度分析图(c,d)

(a 为 14 日 14 时,b 为 14 日 17 时,c 为 14 日 14 时,d 为 14 日 17 时;蓝色虚线为露点温度,黑色矢量箭头为地面显著流线,红色实线为地面辐合线,阴影区为超级单体落区)

据刁秀广等^[18]统计的山东 6 月冰雹直径 ≥ 20 mm 的 VIL 阈值为 57.5 kg/m^2 。此次超级单体风暴在地面产生大冰雹时 VIL 值在 $59\sim 75 \text{ kg/m}^2$,明显超过山东同期大冰雹的 VIL 阈值,持续时间长达 1 h,表明出现大冰雹的概率非常大。

VIL 与风暴顶高度之比为 VIL 密度,根据刁秀广等^[18]研究指出 6 月山东大冰雹风暴单体 VIL 密度阈值为 4.5 g/m^3 。本个例中,降大冰雹时 VIL 密度在 $4.7\sim 6.9 \text{ g/m}^3$,大于山东出现大冰雹的阈值,灾情调查发现多地出现直径 >2 cm 的冰雹。图 9 显示本次长生命史超级单体风暴从发展到成熟阶段 VIL 值有明显的跃增,VIL 密度变化趋势与 VIL 值变化几乎同步。15:16,VIL 值只有 3 kg/m^2 ,16:08 增大到 44 kg/m^2 ,2 个体扫后增大到 64 kg/m^2 ,反映出云体内冰雹粒子快速的碰并增长,之后一直维持 $>63 \text{ kg/m}^2$ 。在 16:31 增大到最大值 75 kg/m^2 ,VIL 密度也达到最大值 6.9 g/m^3 ,这时云体内冰雹粒子已经充分大,16:38 VIL 值突然下降到 65 kg/m^2 ,表明云体内的水汽含量急速下降,地面章丘站附近此时出现直径 >2 cm 的冰雹。风暴单体在降雹前第 6 个体扫(16:08)到第 5 个体扫(16:14)之间的 VIL 变化比较明显,达 14 kg/m^2 ,降雹时间基本上是在 VIL 达到最大值后 1~2 个体扫开始出现,这与刁秀广等^[18]的研究较一致。因此在满足大冰雹发生发展的环境条件下,可用 VIL 值 1 个体扫明显跃增 14 kg/m^2 以上作为大冰雹的预警指标,由于跃增前后时间差为 1 个体扫,因此可用 VIL 值明显跃增提前 14~20 min 预警大冰雹,这也为冰雹的预警提供有价值的信息。

5.2 回波顶高及对流风暴高度变化特征

6 月 14 日降雹期间最大反射率因子 $>65 \text{ dBZ}$ (图 10),出现直径 >2 cm 的大冰雹时段的对流风暴最大反射率因子也最强。本次长生命史超级单体最大反射率因子(强中心)所在高度变化趋势显示,当

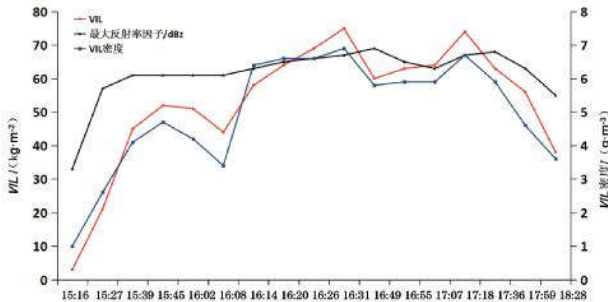


图 9 2016 年 6 月 14 日对流风暴的最大反射率因子、VIL 值及 VIL 密度随时间变化

风暴单体强中心高度从 16:31 的 6.8 km 降至 16:38 的 2.9 km 时,地面此时观测到直径 >2 cm 的大冰雹,当强中心高度从 16:38 的 2.9 km 跃升至 16:43 的 8.1 km 时,大冰雹停止。当强中心高度从 16:43 的 8.1 km 降至 16:49 的 2.2 km 时,地面出现大冰雹,当对流风暴的高度从 16:55 的 2.4 km 上升至 17:01 的 5.7 km 时,大冰雹停止。强中心每次跃升的高度 $>7.9 \text{ km}$,因此,冰雹发生在风暴单体强中心高度和回波顶高下降期间。

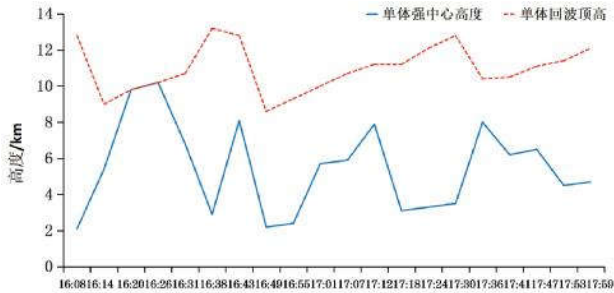


图 10 2016 年 6 月 14 日对流风暴的单体回波顶高和单体强中心高度随时间变化

5.3 中气旋特征

图 11 给出了中气旋的参数演变,本次长生命史超级单体风暴内中气旋维持约 1 h 39 min,中气旋顶高维持 $>6 \text{ km}$,最高为 7.8 km。中气旋厚度在 3 km 以上,最大为 6.9 km;出现冰雹时段中气旋最大切变基本维持在 $5\times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上。这些特征反映了中气旋发展深厚旺盛,有利于对流风暴的维持和强灾害性天气的出现。

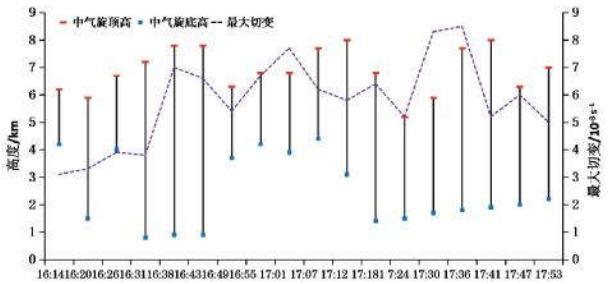


图 11 2016 年 6 月 14 日对流风暴的中气旋底高、中气旋顶高和最大切变随时间变化

6 结论与讨论

(1)在华北冷涡天气背景下,中层有中空急流配合的冷槽叠加在低层低空急流配合的暖脊上,使山东中西部地区中低层之间水汽和热量的平流差异不断增大,低层逆温层抑制对流,积蓄不稳定能量,使

层结不稳定性逐渐增强, 有利的环境条件利于对流的发生发展。

(2) 风暴成熟阶段右前方一直存在暖湿气流的人流槽口(“V”型缺口), 风暴一直伴随明显的三体散射和旁瓣回波, 其长度>40 km。垂直结构呈现出经典超级单体的回波结构特征。中气旋发展深厚旺盛且长时间维持是本次超级单体风暴长时间维持的原因。

(3) 地面露点锋生和中尺度辐合线触发的对流云团在深厚的垂直风切变和较强的不稳定层结作用下逐渐发展成超级单体风暴, 而地面中尺度辐合线长时间维持是导致本次超级单体风暴生命史较长的主要原因。

(4) 本次长生命史超级单体反射率因子长时间维持在 60 dBZ 以上, 最大 VIL 值和 VIL 密度分别达 75 kg/m² 和 6.9 g/m³, 且长时间维持在 59 kg/m² 和 4.7 g/m³ 以上。6 月, 当最大反射率因子值达到 60 dBZ, 出现中等强度以上中气旋且 VIL 值和 VIL 密度分别达 59 kg/m² 和 4.7 g/m³ 以上时, 在强对流预报业务中需要注意大冰雹的出现, 可用 VIL 值明显跃增 14 kg/m² 以上提前 14~20 min 预报冰雹。冰雹发生在风暴单体强中心所在高度和回波顶高下降期间。

通过此次长生命史超级单体风暴的分析, 类似华北冷涡天气背景条件下, 应关注水汽和热量的平流差异对风暴发生发展的影响。因此, 对一些天气形势需要加强监测, 监测强风暴发生前环境的演变, 以探索强风暴发生发展的关键机制。同时, 在关注天气形势背景, 水汽和热量条件的同时, 应关注近地面层边界层辐合线对雷暴的触发和加强作用, 以提高临近预报预警的准确性和预报时效。

参考文献:

- [1] Browning K A. The structure and mechanisms of hailstorms [C]. Amer Meteor Soc Monograph, AMS, Boston, 1978: 38.
- [2] 俞小鼎, 姚秀萍, 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: 116-129.
- [3] 孙虎林, 罗亚丽, 张人禾, 等. 2009 年 6 月 3—4 日黄淮地区强飚线成熟阶段特征分析[J]. 大气科学, 2011, 35(1): 105-120.
- [4] 马月枝, 苏爱芳, 叶东, 等. 2014 年 7 月 14 日新乡强对流过程成因分析[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(1): 54-63.
- [5] 高晓梅, 孙雪峰, 秦瑜蓬, 等. 山东一次强对流天气的环境条件和对流风暴特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(3): 447-455.
- [6] 高帆, 褚颖佳, 胡鹏, 等. 一次长生命史超级单体风暴的雷达观测特征和维持机制[J]. 气象科技, 2018, 46(2): 336-342.
- [7] 孙伟, 曹舒娅, 解小寒, 等. 苏南一次深秋局地强对流的多源资料分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(3): 56-63.
- [8] 高晓梅, 俞小鼎, 王令军, 等. 山东半岛两次海风锋引起的强对流天气对比[J]. 应用气象学报, 2018, 29(2): 245-256.
- [9] 姚静, 井宇, 赵强, 等. 黄土高原一次连续性强对流天气分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(3): 55-64.
- [10] 万夫敬, 江敦双, 赵传湖. 2017 年 8 月 6 日山东罕见雷暴大风成因分析[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(2): 60-66.
- [11] 牛犇, 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.
- [12] 陈晓燕, 付琼, 岑启林, 等. 黔西南州一次分裂型超级单体风暴环境条件和回波结构分析[J]. 气象, 2011, 37(4): 423-431.
- [13] 高晓梅, 王世杰, 王文波, 等. 2016 年山东一次阵风锋触发的强对流天气分析 [J]. 海洋气象学报, 2018, 38(2): 67-75.
- [14] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 第二版. 北京: 北京大学出版社, 2013: 150-154.
- [15] 阎丽风, 杨成芳. 山东省灾害性天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 133-141.
- [16] Emanuel K A. Atmospheric Convection [M]. New York: Oxford University Press, 1994: 158-165.
- [17] 廖晓农, 俞小鼎, 王迎春. 北京地区一次罕见的雷暴大风过程特征分析[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1350-1362.
- [18] 刁秀广, 朱君鉴, 黄秀韶, 等. VIL 和 VIL 密度在冰雹云判据中的应用[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1131-1139.

Analysis of Radar Echo Characteristics and Triggering Mechanism of a Long Life Supercell in the Midwestern Shandong Province

ZHU Yiqing¹, HU Shunqi²

(1.Linyi Meteorological Bureau, Linyi 276004, China;

2.Kashgar Meteorological Bureau, Kashgar 844000, China)

Abstract Based on the conventional observation data, Doppler weather radar data, NCEP/NCAR reanalysis data and automatic weather station data, the environmental conditions and the evolution of the radar echo structure of a long life supercell storm occurred in mid-western Shandong province on 14 June 2016 are analyzed. It shows that, first, the strong convection occurs under the background of a cold vortex in northern China. The cold trough with hollow jets in the middle layers is superimposed on the warm ridges with the low-level jets in the lower layers, accompanied with the increasing advection difference of water vapor and heat between the middle and low levels. Second, the convective cloud clusters triggered by ground dew frontogenesis and the mesoscale convergence lines gradually develop into supercell storms under the action of deep vertical wind shear and strong vertical unstable stratification. The reflectivity factor of the super cell low layer presents an obvious “V”-shaped gap, while the vertical profile of the reflectivity factor presents a typical bounded weak echo zone, echo overhang and echo wall, and the corresponding middle and upper radial velocity presents a strong medium cyclone with its rotation speed up to 29 m/s. The development and maintenance of the mid-cyclone allows the development and maintenance of supercell. Finally, it is necessary to pay more attention to the occurrence of large hail in the forecasting operation of strong convection when the moderate cyclone above moderate intensity occurs and VIL value and VIL density reached 59 kg/m² and 4.7 g/m³ respectively with the maximum reflectance factor value reaches 60 dBZ in June in Shandong province. It also should be noted that, in addition, the hail occurs at the height of the strong center of the storm cell and the falling time of the echo peak.

Key words long life history; supercell; Doppler weather radar; VIL density