

郭兰. 三门峡一次致灾冰雹过程的中尺度分析[J]. 陕西气象, 2018(4): 18-22.

文章编号: 1006-4354(2018)04-0018-05

三门峡一次致灾冰雹过程的中尺度分析

郭 兰

(三门峡市气象局, 河南三门峡 472000)

摘 要: 利用高空、地面观测资料, NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h 间隔再分析资料和三门峡多普勒雷达产品, 对三门峡市 2017 年 7 月 10 日的一次强冰雹天气过程进行了分析。结果表明: 此次冰雹过程是在高空西北气流背景下产生的, 低层切变线为对流的发生提供了动力条件; 强不稳定层结和垂直风切变的长时间维持是导致对流快速发展并且持续的重要原因之一; 在干对流环境中的不稳定能量条件下, 强对流发生在边界层中的高湿区内; 中气旋基本沿着超级单体入流方向前部的辐合区移动; 垂直累积液态含水量(VIL)跃增和骤降的时间与冰雹和大风发生的时间相对应, 指示大风天气的 VIL 变化值远小于指示冰雹天气的 VIL 变化值。

关键词: 地面辐合线; 干对流; 中气旋; VIL

中图分类号: P458.1212

文献标识码: A

三门峡市地处豫西山区, 每年都会出现不同程度的冰雹天气, 而且主要集中在夏季, 此时正值苹果、烟叶等经济作物的生长期, 冰雹往往会造成农作物大面积的减产甚至绝收, 给当地经济造成严重损失, 对冰雹天气的研究一直是预报预警工作的重中之重, 如何提高局地性强对流天气的预报预警准确率一直是各个专家学者研究的重点内容。彭治班等^[1]通过研究发现冰雹是在大尺度的环流背景下, 由中尺度对流活动发展的结果, 热力不稳定决定了对流发展的强度。张小玲等^[2]认为, 中 β 尺度深对流系统所需的上升运动是由局地对流有效位能 CAPE 释放的浮力抬升引起的。本文通过对三门峡市的一次强冰雹天气过程的中尺度分析研究, 揭示此次天气过程的发生发展机理, 为三门峡市的预报预警及防灾减灾工作提供支撑。

1 天气实况

2017 年 7 月 10 日 17:30—20:00, 三门峡市陕州区、渑池县、卢氏县、灵宝市先后出现强冰雹天气, 并伴有大风和局地强降水, 冰雹最大直径在

3 cm, 极大风速达 26.5 m/s。此次天气过程主要以冰雹和大风为主, 最强降雹出现在陕州区, 出现时间主要集中在 17:30—19:00, 受强天气影响当地出现了气温骤降和风力猛增的现象, 气温降幅达 11.3 $^\circ\text{C}/\text{h}$, 风速小时增幅为 15.3 m/s。此次冰雹过程强度大, 持续时间较长, 影响范围广, 各地受灾严重。

2 天气系统配置

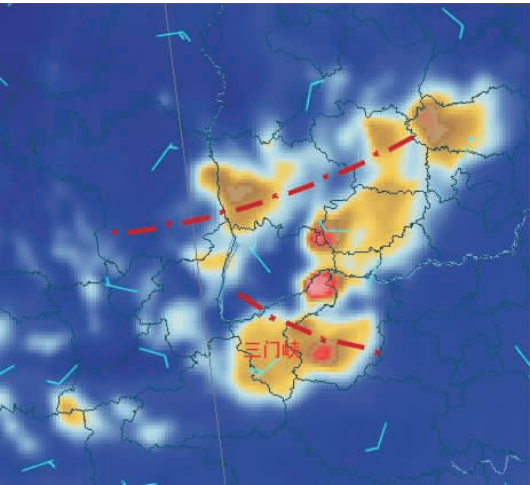
10 日 08 时 500 hPa 和 700 hPa 天气图(图略)上, 三门峡市处于高空槽后的西北气流中, 西北风风速达到 10~12 m/s。500 hPa 温度槽明显落后于高度槽, 等温线与等高线交角近 90° , 槽后有强冷平流输送。700 hPa 有一个暖中心位于陕西与甘肃交界, 且在三门峡上空有暖平流输送, 形成了上冷下暖的层结结构, $t_{850-500} \geq 30^\circ\text{C}$, 有很强的位势不稳定存在。850 hPa 上, 陕西到甘肃一线有一切变线。10 日 20 时 500 hPa 和 700 hPa 上三门峡市仍受西北气流控制, 850 hPa 上切变线东移, 恰好处于三门峡市上空, 为辐合上升运动提供了有利的动力条件。

收稿日期: 2018-01-22

作者简介: 郭兰(1988—), 女, 汉族, 河南卢氏人, 本科, 工程师, 从事中短期天气预报及研究。

基金项目: 河南省气象局预报员专项“基于多源资料的三次典型致灾冰雹过程差异化分析”(KY201843)

地面图上,从7日开始三门峡市一直处于低压带中,连续出现 35℃ 以上的高温天气,前期地面已经积聚了大量热能。10 日 11 时在山西西南部到陕西一带已有地面辐合线产生,13 时已经有明显对流云团出现,且与地面辐合线位置基本一致。随后在高空西北气流的引导下,对流云团向东南方向移动。18 时对流发展较为旺盛(图 1),从图 1 可明显看到对流云团在地面辐合线两侧发展。



红线为地面辐合线

图 1 2017-07-10T18 地面风场和红外卫星云图

3 对流条件分析

3.1 强垂直风切变

较强的垂直风切变是维持对流云团内强上升气流的因素之一^[3-5],分析郑州站探空曲线发现,10 日 08 时,850~700 hPa 风向自下而上由西南风转为西北风,低层的垂直风切变很强,并且有暖平流存在。20 时(图 2),925~850 hPa 风向由偏南风转为西北风,风切变增强,且暖平流范围发展至 850 hPa 以下。此次过程中强垂直风切变的长时间维持是导致对流风暴发展旺盛并且持续的一个重要原因。

3.2 层结不稳定性

假相当位温的分布能反应大气的温湿能量分布, θ_{se} 的高值区为高温高湿区^[4]。通过分析此次过程 850 hPa 的 θ_{se} 分布可以发现,10 日 08 时有一 346 K 的能量中心位于四川东北部一带,此时三门峡处于能量舌边缘, θ_{se} 值为 338 K,不稳定能量较弱;14 时(图 3)能量中心增强至 350 K,此时

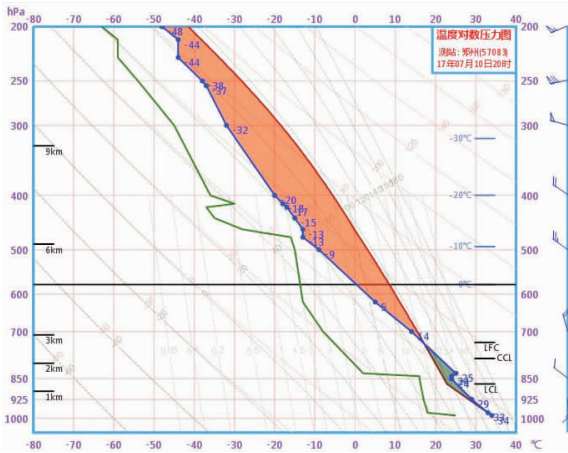


图 2 2017-07-10T20 郑州站上空 T-lnp 图

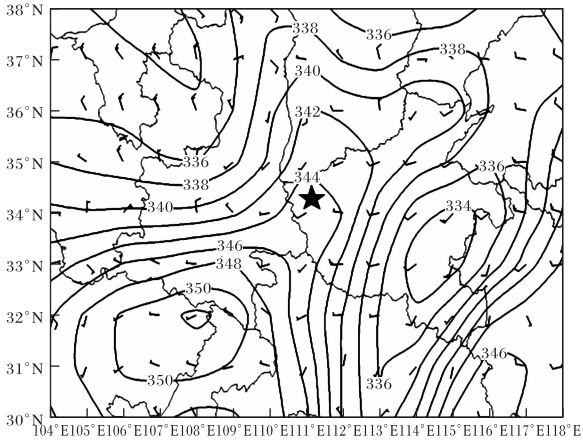


图 3 2017-07-10T14 假相当位温

(单位为 K,五角星为三门峡)

三门峡处于 344 K 的高能量舌中;20 时三门峡市的 θ_{se} 一直维持在 344 K。850 hPa 和 500 hPa 的假相当位温差值可以表征两个高度之间的层结稳定性, $\Delta\theta_{se}(850-500)$ 值越大,表明层结越不稳定,从沿三门峡站(111.2°E,34.8°N)上空的假相当位温垂直剖面图上可以看到(图 4),10 日 14 时的 $\Delta\theta_{se}(850-500)$ 达 8℃,存在强的位势不稳定,在 500 hPa 处有一个低值中心存在,直观反映了中层冷空气的入侵情况,非常有利于强对流天气的产生。

3.3 动力抬升条件

大雹块增长的一个必要条件是要有可长时间支撑雹块的强上升气流,描述热浮力的物理量是对流有效位能 CAPE^[4],因此对流有效位能越大,产生的上升气流越强,所以在进行冰雹诊断时,CAPE 值是最有代表性的物理量。10 日 08 时郑

州站探空测得的 CAPE 值为 $1\,187.8\text{ J/kg}$, 此时 CAPE 值虽然对对流潜势有一定的指示, 但强度并不算很大, 而 14 时的 CAPE 值迅速增大到了 $3\,625\text{ J/kg}$, 产生冰雹的动力抬升条件明显增强。

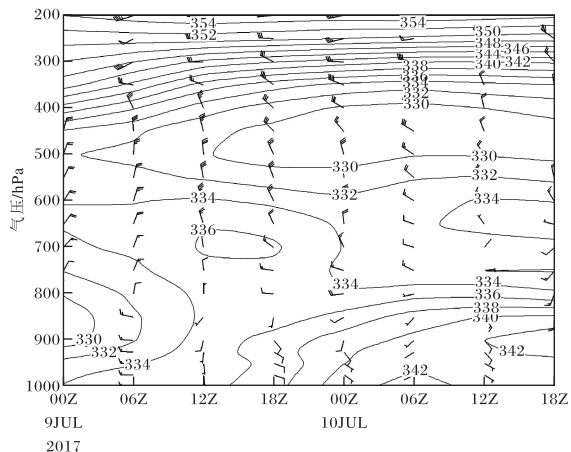


图 4 2017-07-09T08—11T02 三门峡站的假相当位温垂直剖面(单位为 K, 横坐标为世界时)

3.4 水汽条件

水汽条件是产生对流天气的必要条件。分析温度露点差发现, 在此次过程中, $850\sim 500\text{ hPa}$ 三门峡及周边地区大气均处于干区中, 而 $1\,000\sim 925\text{ hPa}$ 三门峡市处于 $t-t_d\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高湿区内, 只有近地层水汽条件较好, 这种近地层较湿, 低层较干, 中高层更干的水汽条件配置对冰雹的形成十分有利。由于湿层较为浅薄, 所以此次对流天气主要以冰雹和大风为主。需要注意的是, 此次过程中在河南省东部地区也存在不稳定能量的发展, 并且地面有较为明显的辐合线, 但是由于东部一带 $925\sim 700\text{ hPa}$ 的大气均处于干区中, 没有合适的水汽条件, 所以并未出现明显对流天气。由此可见, 在干对流环境中, 同样的不稳定能量条件下, 强对流发生在边界层的大湿区内。

4 雷达资料分析

雷达资料可以清楚显示中小尺度系统的演变情况。通过分析三门峡站的多普勒雷达资料发现, 此次降雹过程主要是超级单体分裂以及重组加强产生的降雹, 多个单体不断的相互作用导致强回波持续时间较长。

4.1 雷达回波参数特征

4.1.1 组合反射率因子演变 超级单体的初始

回波产生于 17:18。17:42 回波中心强度以 $10\text{ dBZ}/6\text{ min}$ 的速度增至 60 dBZ (图 5a), 此时回波顶高达到了 16 km , 垂直累积液态含水量(VIL)达到了 68 kg/m^2 。结合实况, 此时该回波已经开始出现冰雹。17:48 回波增至最强, 达到 65 dBZ 。17:54 在基本速度图上出现了中气旋(图 5b), 标志着该风暴单体发展至旺盛时期, 随后回波中心强度一直维持在 65 dBZ , 并逐渐向南移动。在该超级单体发展的过程中, 在其西南侧同时有局地回波生成并迅速加强, 强中心发展至 55 dBZ 。18:24 该超级单体与其西南部的回波构成了线状多单体风暴, 线状回波南端前侧的回波单体呈环状分布(图 5c)。随后环状回波在西北气流的引导作用下向东南方向移动并减弱, 线状回波单体发生了重组合并, 在回波整体向东南方向移动的过程中, 上述超级单体发生减弱和增强交替出现的现象, 但强度远小于前期发展阶段, 20:30 随着系统能量的释放, 回波迅速减弱, 此次过程强回波在三门峡境内维持了近 3 h 。

4.1.2 中气旋移动特征 通过雷达基本径向速度图可以判断气流的辐合、辐散以及旋转特征^[6-7]。在此次过程中, 从 0.5° 仰角的速度图上可以看到, 17:54 开始在三门峡境内出现中气旋(图 6a), 此时中气旋强度相对较弱, 在中气旋的南部有一速度辐合(图 6a 中 C1)存在, 随后中气旋向着 C1 的方向移动, 18:18 中气旋与辐合 C1 合并并且增强, 18:24 中气旋(图 6b)的旋转速度达到 25.5 m/s , 属于强中气旋标准。此时在中气旋西南侧有一新的速度辐合(图 6b 中 C2)形成, 18:30 速度辐合 C2 增强, 中气旋向西南方向移动, 中气旋的速度辐合区与 C2 基本连为一体(图 6c), 中气旋速度达到 27 m/s , 在此次过程中, 中气旋的移动方向基本沿着超级单体入流方向前部辐合区的位置移动。

4.2 超级单体结构及流场特征

只有在合适的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度条件下才有利于冰雹的产生^[7-8]。图 7 为 18:12 风暴核心的反射率因子垂直剖面, 由图可以看到, 大于 50 dBZ 的回波从近地层伸展至 14 km 处, 远远超

过-20℃层高度(7.4 km),大大增加了降大冰雹的概率。由于强烈的入流上升气流,中高层回波呈现悬垂状态,并且有有界弱回波区 BWER 形

成,回波顶位于反射率因子大梯度区之上。65 dBZ 强回波中心位于 3 km 以下,冰雹此时正在下降的过程中。

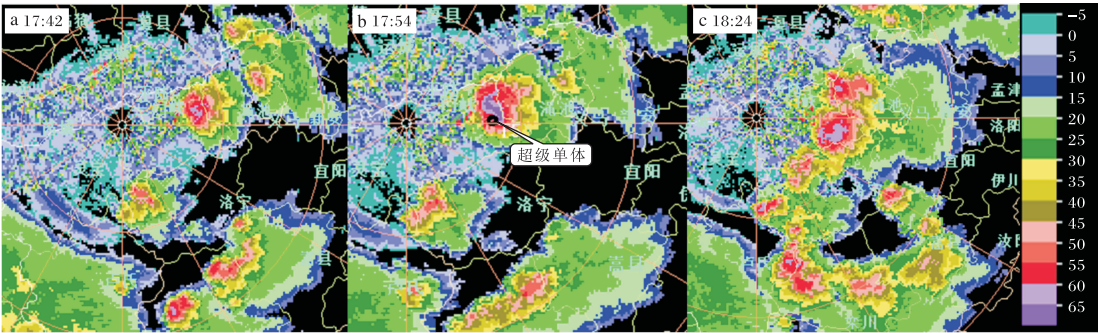
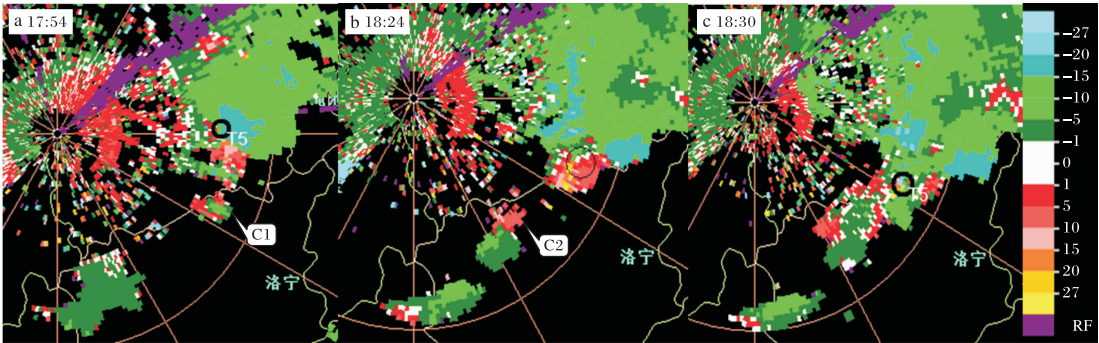


图 5 2017-07-10 三门峡多普勒雷达组合反射率因子演变(单位为 dBZ)



黑色圆圈区内为中气旋;C1、C2 为速度辐合区

图 6 2017-07-10 三门峡多普勒雷达 0.5°仰角径向速度图上的中气旋移动路径(单位为 m/s)

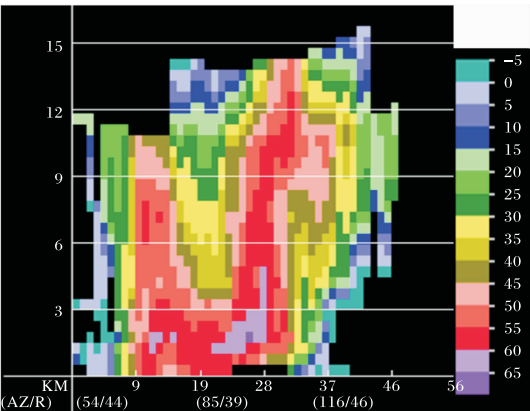
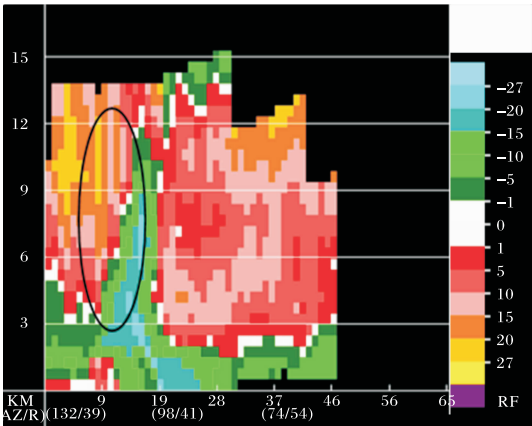


图 7 2017-07-10T18:12 三门峡多普勒雷达风暴核心的反射率因子(单位为 dBZ)垂直剖面

18:30 为中气旋发展最强的时刻,从基本径向速度垂直剖面图(图 8)可以看到,在 3~12 km 处存在一个中层径向辐合区^[9],而且可以明显看到两个正负速度中心对,此时旋转速度最大,达到

27 m/s,近地面的负速度达到 15 m/s,结合实况,此时地面出现了大风天气。



黑色圆圈中为中层径向辐合区

图 8 2017-07-10T18:30 三门峡多普勒雷达风暴核心基本径向速度(单位为 m/s)垂直剖面

4.3 垂直累积液态含水量特征

在此次过程中垂直累积液态含水量 VIL 很好的指示了冰雹和大风天气的发生过程,从图 9 可看到,17:36—17:42 VIL 由 28 kg/m² 突然跃增到 68 kg/m²,一个体扫的跃增量达 40 kg/m²,此时开始出现冰雹天气,此后强中心一直维持在 60~70 kg/m² 的高值范围。18:30—18:36 VIL 由 68 kg/m² 降至 55 kg/m²,结合实况此时地面出现了极大风速为 15.9 m/s 的大风天气。18:48 VIL 再次跃增到 68 kg/m²,18:48—19:06 VIL 再次出现较为明显的下降,实况为地面上 18:52 出现了极大风速为 18.5 m/s 的大风天气。18:54 后 VIL 迅速下降,降雹也随之结束。由此可见,VIL 的突然跃增意味着强冰雹天气将要发生,强 VIL 的维持时间与冰雹的发生时间一致^[9-10],VIL 的快速减小标志着地面大风天气的开始^[11],指示大风天气的 VIL 变化值远小于指示冰雹天气的 VIL 变化值。

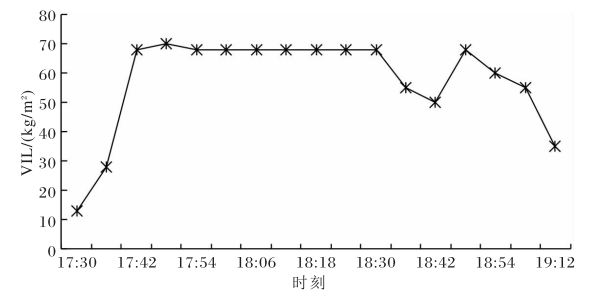


图 9 2017-07-10T17:30—T19:12 三门峡雷达站垂直累积液态含水量(VIL)变化特征

5 小结

(1)此次冰雹过程是在高空强盛西北气流背景下产生的,低层切变线为对流的发生提供了动力条件,对流云团均沿着地面辐合线发展。强的不稳定层结和强垂直风切变的长时间维持是导致

对流快速发展并且持续的重要原因之一。

(2)在干对流环境的不稳定能量条件下,强对流发生在边界层高湿区内。

(3)此次强冰雹过程主要由超级单体造成,从中气旋的移动路径上来看,中气旋的移动方向基本沿着超级单体入流方向前部的辐合区移动。

(4)VIL 跃增和骤降的时间与冰雹和大风发生的时间相对应,指示大风天气的 VIL 变化值远小于指示冰雹天气的 VIL 变化值。

参考文献:

[1] 彭治班,刘健文,郭虎,等. 国外强对流天气的应用研究[M]. 北京:气象出版社,2001.

[2] 张小玲,陶诗言,张顺利. 梅雨锋上的三类暴雨[J]. 大气科学,2004,28(2):187-205.

[3] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007.

[4] 章国材. 强对流天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,2011:58-98.

[5] 丁建芳,杨敏,刘磊. 河南省冰雹短期预报方法研究[J]. 气象与环境科学,2017,40(1):47-53.

[6] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2007:90-176.

[7] 张一平,俞小鼎,孙景兰,等. 一次槽后型大暴雨伴冰雹的形成机制和雷达观测分析[J]. 高原气象,2014,33(4):1093-1104.

[8] 井宇,陈闯,陈宁,等. 陕北北部一次雹暴的特征及成因[J]. 陕西气象,2013(4):6-11.

[9] 曲良璐,谭甜甜,周雪雁. 阿克苏地区一次强对流天气卫星云图及雷达特征分析[J]. 陕西气象,2017,(5):6-12.

[10] 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.

[11] 李秀琳,贾金海. VIL 产品在人工防雹中的应用[J]. 陕西气象,2008(3):13-16.