

Analysis of the Causes of the Continuous Hail Process from 3 to 13 June 2016 in Pingliang of Gansu Province

Lina Wang, Xiaochun Fan, Yifan Jiang, Ruidong Zhang

Pingliang Meteorological Bureau of Gansu Province, Pingliang Gansu
Email: wangln22@126.com

Received: May 8th, 2020; accepted: May 22nd, 2020; published: May 29th, 2020

Abstract

In this paper, the causes of the continuous hail process in Pingliang, of Gansu Province, from 3 to 13 June 2016 were analyzed by using the routine weather charts, radar, and satellite cloud images, in order to provide references for forecasters in daily monitoring and forecasting services.

Keywords

Hail, Satellite Cloud Images

2016年6月3~13日甘肃平凉连续性冰雹过程成因分析

王丽娜, 樊晓春, 江一凡, 张瑞东

甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉
Email: wangln22@126.com

收稿日期: 2020年5月8日; 录用日期: 2020年5月22日; 发布日期: 2020年5月29日

摘要

本文利用常规天气图、雷达、卫星云图等资料, 对2016年6月3~13日甘肃平凉连续性冰雹过程成因进行分析, 以便日常监测预报服务为预报员提供参考依据。

关键词

冰雹, 卫星云图

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冰雹是春夏季节一种对农业生产危害较大的灾害性天气,也是平凉市灾害性天气预报和服务的重点。此类天气具有影响范围小、发展速度快和持续时间短等特点,它虽是一种局部的灾害性天气,但同时也是最严重的自然灾害之一,一般伴有暴雨洪涝和大风,对人民生活、生命财产安全等造成严重危害,相对于平凉比较脆弱的农业生产条件,冰雹常对农作物造成不可挽回的损失。而准确预报冰雹则是气象预报服务中的一项艰巨的任务。国内不少学者和业务人员对我国的冰雹天气进行了研究,取得了不少研究成果[1]-[12],而本地气象工作者也做过多年研究,并总结出平凉典型的四类冰雹概念模型,本文通过分析2016年6月3~13日甘肃平凉连续冰雹过程,试图找出一些预警指标,以期日常监测预报服务为预报员提供参考依据。

2. 天气实况及灾情

2016年6月3~13日平凉连续出现强对流天气,过程主要以冰雹为主,伴随雷暴、阵性大风和短时强降水,主要的冰雹天气出现在6月3日、6日、8日、9日、11日、12日、13日(见表1)。经统计,平凉7县(区)冰雹次数为22县(次),有60多个乡镇出现冰雹,最大直径为35 mm,与历年同期相比(6月冰雹历年平均5.4次),为冰雹多发月份。对比7次冰雹天气实况发现,有5次过程冰雹最大直径均小于10 mm,强度较弱,且范围小,灾情较轻,2次过程强度较大,最强的为12日出现在平凉中部的强降雹,冰雹最大直径35 mm,造成3县区、12乡镇、62村、10316户、43,538人受灾,农作物受灾面积5698.26公顷,成灾4496.28公顷,绝收1521.96公顷,因灾死亡大牲畜5只,共造成直接经济损失5003.19万元。针对7次冰雹天气过程,我们从其发生的天气背景及物理量、雷达回波特征等进行对比分析。

Table 1. Hail weather from 3 to 13 June 2016 in Pingliang

表 1. 2016年6月3~13日平凉冰雹天气实况

日期	强对流天气类型	冰雹直径	降雹时间(持续时间)	强对流发生地点
3日	雷电、冰雹	8 mm	15:30	华亭(乡镇)
	雷电、冰雹	<3 mm	13:00~15:00	崆峒(乡镇)
	雷电、冰雹	<3 mm	17:00~17:30	泾川(乡镇)
6日	雷电、冰雹	6 mm	17:00 (8 min)	灵台(乡镇)
	雷电、冰雹	10 mm	18:01~18:55	崆峒(乡镇)
	雷电、冰雹	<3 mm	下午	泾川(乡镇)
8日	雷电、冰雹、短时强降水	<3 mm	14:00~14:21	华亭(乡镇)
	雷电、冰雹	<3 mm	下午	静宁(乡镇)
	雷电、冰雹	<3 mm	下午	崆峒(乡镇)

Continued

	雷电、冰雹	<3 mm	下午	崆峒(乡镇)
9 日	雷电、冰雹	<3 mm	下午	静宁(乡镇)
	雷电、短时强降水			崆峒、华亭(乡镇)
	雷电、冰雹、短时强降水	10 mm	17:39~19:30	灵台(乡镇)
	雷电、冰雹、短时强降水、雷暴大风	7 mm	9 min	灵台
11 日	雷电、冰雹	<3 mm	下午	静宁(乡镇)
	雷电、冰雹	10~15 mm	13:30~15:00	崆峒(乡镇)
	雷电、冰雹	20~35 mm	17:40~19:15	华亭
12 日	雷电、冰雹、短时强降水	10~30 mm	20:28~20:50	崆峒(乡镇)
	雷电、冰雹	<5 mm	17:40~19:15	静宁(乡镇)
13 日	雷电、冰雹	10 mm	傍晚	静宁(乡镇)
	雷电、冰雹	<5 mm	傍晚	庄浪(乡镇)

3. 影响系统分析

平凉气象台经多年研究,总结出本地典型冰雹概念模型有四类,分别为蒙古冷涡(低槽)类(占 34%)、河套低(压)或东北低(压)槽类(占 40%)、西方小槽类(占 21%)、偏南气流类(盛夏,占 5%);本文通过分析 6 月 3~13 日出现的 7 次冰雹天气过程当日 08 时 500 hPa 高空形势发现,6 月 3 日、9 日、13 日冰雹过程,当日 500 hPa 均有蒙古冷涡形成,其他 4 次过程也是蒙古冷涡东移过程中在东北形成大低压(槽)而造成的。持续多日的冰雹从环流背景上是满足平凉降雹形势类型的。以下重点分析范围最大(3 日)和最强(12 日)两次冰雹过程特征。

过程前,6 月 2 日 08:00 (图略) 500 hPa 高空图上,中高纬为两槽一脊,东亚为低槽,河套北部至贝加尔湖为高压脊控制,蒙古西部已有冷涡初生,但还未形成闭合的低涡中心,伴随高压脊的崩溃,在 105°E 以西 45°N 附近形成闭合低涡,其底部延伸至河套北部,随后系统东移发展,35°N 以北的我国北方地区为西风带环流控制,副热带高压在华南沿海一带活跃。过程开始当日 3 日 08:00 (图 1a),高空低涡已在蒙古国西部形成,位置偏南,其底部靠近河套地区,温度槽位于高原边坡,其中心温度低于-12°C,冷槽深厚并且落后于高度槽,有利于冷涡的继续发展,冷涡底部不断有冷空气扩散南下,平凉处在冷槽前西北气流中,冷平流明显。再从 3~13 日 08 时冷涡中心动态(图 2)可看出,冷涡中心活跃于 40°N 以北,前几次强对流过程冷涡中心移速较快,从蒙古发展向东延伸靠近东北地区又转折北上至东北北部,冷涡中心温度均低于-20°C,位置偏北对本地影响较弱;9 日 08:00 (图 1b),东北低涡断裂,在蒙古国、贝加尔湖南部 50°N 以南 110°E 附近又新生一冷涡,相对本地冷涡位置偏北,造成本地弱降雹天气,然后向东缓慢移动至东北地区北部并维持稳定。12 日 08:00 (图 1c),东北冷涡中心低于 556 位势什米,而且冷槽中心温度低于-20°C,冷槽经向度较大一直延伸至西北地区东部,平凉主要受东北低(压)槽后部强冷平流影响,贝加尔湖西部低槽也有冷空气沿着西北气流南下不断补充,导致本地最强的一次降雹天气过程。13 日 08:00 (图略),蒙古西部有弱切变,本地上空为浅温度槽,冷平流不明显,但低层暖脊较强,导致本地西部弱降雹天气;20:00 (图 1d),蒙古西部切变发展形成低涡南压至河套,陇东北部形成西北急流(500 hPa,急流中心最大风速达 30 m/s),本地处于高空急流出口区右侧,低层 700 hPa 西北风较大,强对流天气结束。

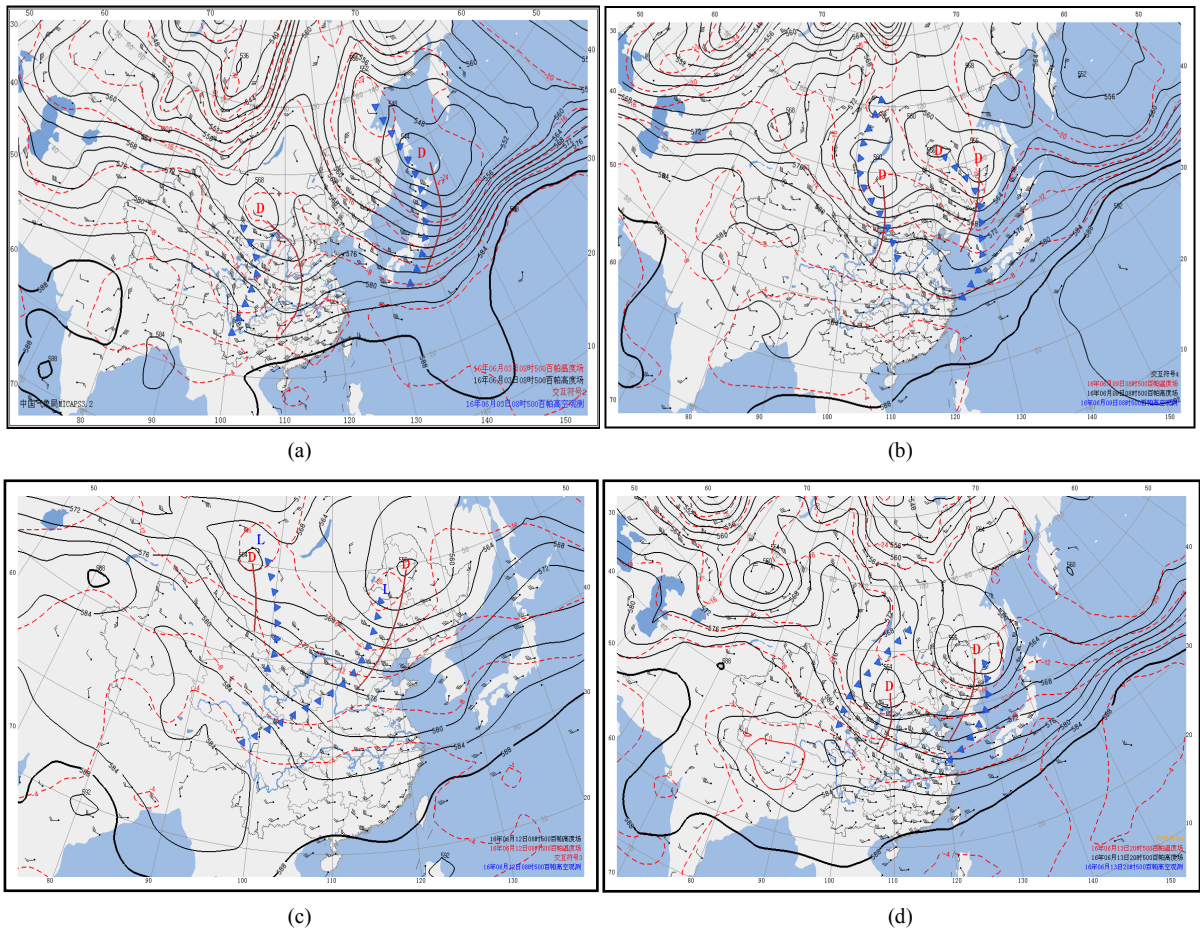


Figure 1. Height and temperature field at 500 hPa at 08:00 on June 3rd (a); 08:00 on June 9th (b); 08:00 on June 12th (c); 20:00 on June 13th (d)

图 1. 6 月 3 日 08:00 (a); 9 日 08:00 (b); 12 日 08:00 (c); 13 日 20:00 (d) 500 hPa 高度场与温度场

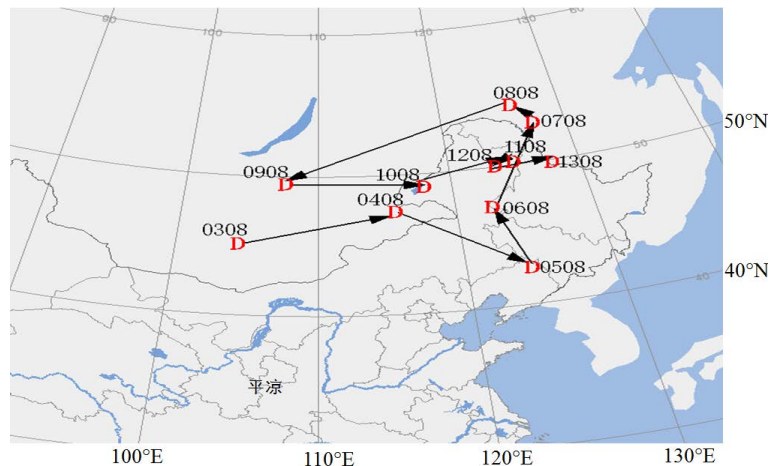


Figure 2. Dynamic diagram of vortex center from 3 to 13 June

图 2. 6 月 3~13 日低涡中心动态图

综上所述, 这 7 次连续冰雹过程的主要影响系统是蒙古冷涡或东北冷(低)涡, 本地主要为冷涡后部西北气流控制, 冷涡后(底)部不断扩散南下的冷空气是触发连续性强对流天气的主要诱导因素。

4. 物理量分析

4.1. 对流参数特征

Table 2. Sounding parameters at 08:00, 14:00 and 20:00 in a day of seven strong convection processes

表 2. 7 次冰雹过程当日 08、14、20 时探空参数

时次	K 指数 (°C)	SI 指数 (°C)	A 指数 (°C)	LI 指数 (°C)	TT 总指数 (°C)	CAPE (对流有效位能) (J/kg)	SWEAT (强天气威胁指数)	0~6 km 垂直风切变(m/s)
6 月 3 日 08 时	27	0.4	-13	-0.2	47	40	166	15.48
6 月 3 日 14 时	36.8	-5	-12.1	-5.8	56.8	1399	332.8	15.48
6 月 3 日 20 时	31	-1.9	-14	-3.6	52	1203	212	20.0
6 月 6 日 08 时	16	13.6	-8	10.5	26	0	40	14.34
6 月 6 日 14 时	35.5	-2.6	-4.1	-3.5	53	1494	246	14.34
6 月 6 日 20 时	24	0.2	-9	-2.8	49	532	70	5.44
6 月 8 日 08 时	25	3.1	-18.5	1.7	43	0	146	19.67
6 月 8 日 14 时	33.4	-3	-12.8	-3.9	51.4	931	262.4	19.67
6 月 8 日 20 时	29	-1.9	4.2	-3.2	51	342	204	10.88
6 月 9 日 08 时	22	3.7	-27.5	3.2	41	0	144	9.3
6 月 9 日 14 时	40.4	-7.6	-23.3	-8.4	60.4	3167	440.4	9.3
6 月 9 日 20 时	33	-0.9	7.6	-2.8	50	350	150	5.34
6 月 11 日 08 时	29	1.3	-0.5	-0.4	46	31	126	5.91
6 月 11 日 14 时	44.8	-9.5	4.6	-10.3	63.6	4020	511.6	5.91
6 月 11 日 20 时	33	-1.9	8.6	-4.1	49	1183	204	13.98
6 月 12 日 08 时	19	2.7	-17.5	1.9	43	0	140	4.51
6 月 12 日 14 时	45.6	-10	-0.7	-10.8	63.6	3978	525.6	4.51
6 月 12 日 20 时	33	-3.2	-2.5	-5.5	53	1056	264	14.62
6 月 13 日 08 时	17	-1.1	-12.2	-3.5	49	554	166	11.0
6 月 13 日 14 时	35.4	-8	-9.4	-8.4	63.4	2163	456.4	11.0
6 月 13 日 20 时	28	0.1	-5	0.2	49	0	140	10.83

对比平凉 7 次冰雹过程当日 08 时、14 时(对 08 时探空进行订正后)和 20 时探空实况参数(表 2)可见, 08 时平凉上空层结还比较稳定, 14 时各项对流参数均表现出层结不稳定, K 指数均大于 33°C, 具备了有利的不稳定层结条件, SI 指数和抬升指数(LI)基本都小于-3°C, 有利于强雷暴的发生, 总温度指数大于 50°C, CAPE 大于 1000 J/kg, 不稳定能量聚集充沛, SWEAT 都大于 200, 有利于强对流天气的触发, 其中 11、12 日两次过程 K 指数最大, 在 40°C~45°C 之间, SI 指数最小, 均小于-9°C, 抬升指数(LI)也是最小的, 均小于-10°C, 而总温度指数 TT 是最大, 达 63.6°C, 而 TT 值越大, 越容易发生对流天气, 其中对流有效位能也是最大的, 有利于能量的积累, 强天气威胁指数也是最大的, 而强雷暴(降雹直径超过 19 mm 以上的雷暴天气)发生时 SWEAT 的临界指标为 300, 这两次过程中 SWEAT 远远超过了强雷暴发生的临界指标, 0~6 km 的垂直风切变又是最小的, 这些对流参数也足以证明 11、12 日两次过程中存在

有利于中等强度以上降雹的条件，而 12 日又是一次强降雹过程。统计资料表明平凉降雹日 08 时 0℃层高度平均在 4.4 km 左右，-20℃层高度平均在 7.3 km，而这 7 次过程中 0℃层高度均在 4 km 左右，-20℃层高度均在 7 km 左右，都具备产生冰雹的有利条件。

4.2. 能量特征

6 月 3~13 日期间 700 hPa 总温度(图略)基本都在 50℃~58℃之间，850 hPa 总温度在 52℃~60℃之间，大的总温度提供了对流天气发展的能量条件；在从高低层垂直温差分布来看，这 7 次过程发生当日 850 与 500 hPa 温差(图略)大于 25℃，有利于不稳定层结的建立，而后几次过程当日，平凉东部至陕西中南部近地面 850 hPa 假相当位温均大于 60℃，表明低层增温增湿，高层冷空气南下，具有高层低能舌叠加在低层高能舌之上的能量水平分布的垂直配置，导致大气对流性不稳定的建立。

4.3. 水汽特征

一般来说，丰富的水汽条件有利于雷暴对流活动的增强，但是在离地 2~4 km，约 700 hPa 高度上下则相反，水汽缺少反而会使雷暴对流活动增强。3~13 日期间 7 次过程当日 08 时低层(700 hPa)湿度较小而高层(500 hPa)湿度较大，湿层并不深厚，也没有明显的水汽辐合，可见强对流天气有水汽条件存在但不需要暴雨所需湿层要深厚和充足的水汽供应。

4.4. 抬升机制

7 次过程中 500 hPa 平凉东部均有涡度(图略)大于 0 的弱上升运动区，而不是整层强烈的上升运动，散度场(图略)分布上整层基本为辐散，辐合的较少，只有最强的一次(12 日)过程为辐合，而且低层辐合高层有弱的辐散配置，由此可见，强对流不需要强的低层辐合需要高层辐散，但是较强的持续时间较长的上升气流对大冰雹的产生很有必要，除了动力条件的抬升外，天气系统造成的抬升和局地热力抬升同样重要。

5. 雷达回波特征

对流云(单体)的发展及加强在强对流天气发生发展过程中起重要作用。分析 7 次强对流过程中雷达回波具有以下共同特征：对流单体基本都在午后 14 时左右从上游自北向东南方向移动逐渐影响本地，在东移南压中对流单体发展加强，中心强度超过 50 dBZ 以上，回波顶高一般都在 9~10 km 以上，最高回波顶高达 13 km 以上，最大垂直累积液态水含量(简称 VIL)均在 25 kg/m² 以上，同时，过程降雹前 1 小时内 VIL 在不断地升高或维持高值，降雹前的 30 分钟左右 VIL 值更是跃增，达到过程最大值后地面开始降雹，降雹后 VIL 迅速减小。

下面以 7 次强对流过程中范围最大的(3 日)和强度最强的(12 日)两次冰雹过程为例，说明强对流单体风暴对大冰雹的产生是很有利的。根据西峰雷达数据监测：3 日平凉 4 县(区)局地乡镇遭受冰雹的过程主要有两个强对流单体，上午 12 时之前平凉境内就已有小范围弱对流回波发展，只造成本地出现局地雷暴天气，13 时在平凉正北部自固原有一带状对流回波开始南压，14 时回波中心强度发展为 45 dBZ，随后带状回波分裂为三个对流单体，一个位于平凉境内，一个移向镇原并减弱，中间一个在东移南压中减弱，平凉境内的对流单体不断发展加强，单体 A (图 3a)中心强度达 50 dBZ，低层(0.5°仰角，图 3c)为辐散，在影响崆峒和华亭降雹前 VIL 跃增并维持在 15~25 kg/m²，16:30 单体 A 在灵台境内减弱，另一个对流单体 B (图 3b)又从镇原加强，并南压逐渐影响泾川北部，中心强度达 50 dBZ，其(1.5°仰角，图 3d)一侧为辐合，一侧为辐散，在东移南压中影响泾川和灵台出现局地小冰雹，18 时单体 B 减弱消散移出平凉东部，强对流天气结束。

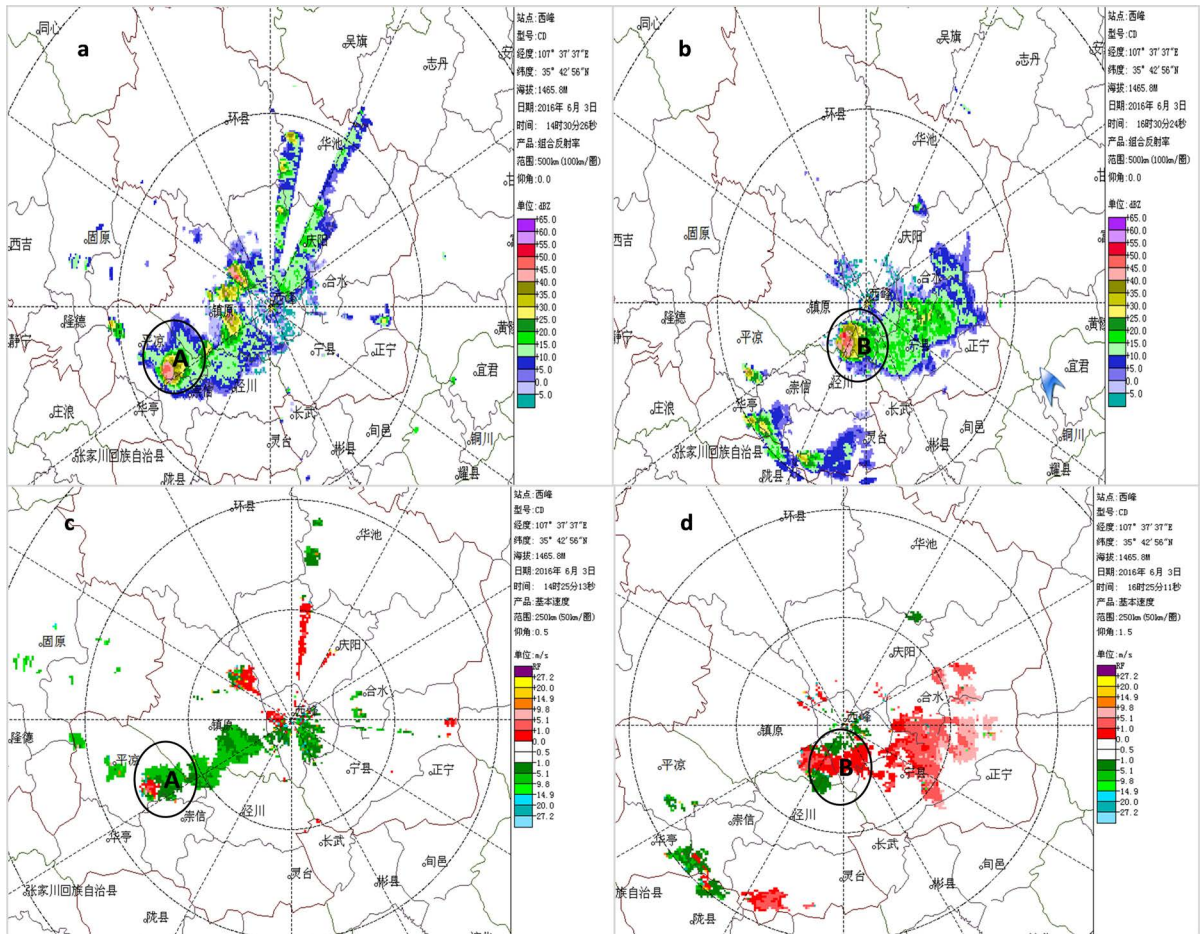


Figure 3. Combined reflectivity at 14:30 (a), 16:30 (b) and base velocity at 14:25 (c), 16:25 (d) on June 3rd
图 3. 6月3日组合反射率 14:30 (a)、16:30 (b)和基本速度 14:25 (c)、16:25 (d)

根据固原雷达数据监测：12日14时之前平凉上游及境内还没有强回波发展，16时强度为50 dBZ的对流单体自宁夏隆德移向平凉，16:43分在平凉东北方向加强，0.5°、1.5°、2.4度三个不同仰角反射率因子显示在平凉北部的对流单体(图4中画圈)中心强度均达55 dBZ，可见该单体垂直伸展高度较高，并且其前侧有明显的“V”型槽口形成，具有大冰雹产生的明显特征，从1.5°仰角速度图上(图4d)看出该单体一侧辐合而另一侧为辐散，具有明显的逆风区，而在组合反射率上显示该单体中心强度达60 dBZ，此时VIL跃增至45 kg/m²以上，最大VIL为50 kg/m²，而之前半小时内VIL跃增并维持在15~30 kg/m²，较大的VIL有利于大冰雹的迅速增长，在其南压中导致华亭开始降雹，最大直径为35 mm，18:20分移出华亭，降雹结束。

通过以上对比可发现，大冰雹的形成需要对流云回波强度较强及反射率因子高值区向上扩展到较高的高度，VIL值高及具有明显的“V”型缺口、逆风区等特征。

6. 小结

分析6月3~13日甘肃平凉连续冰雹过程可以发现，在符合本地冰雹天气概念模型的基础上，还具有一些特征：1) 在蒙古冷涡或东北低压(涡)主导天气尺度系统背景下，平凉上空为西北气流控制，高空冷平流沿西北气流的侵入是触发连续性冰雹过程的主要因素；2) 大气层结不稳定、中下层暖湿上层干冷垂直分布有利于强对流天气发展；3) 冰雹形成的有利因素：适宜的0℃层(600 hPa或4 km)高度和-20℃(400 hPa或7 km)层高度；大冰雹的产生需要较大的对流有效位能和较强的持续时间较长的上升气流，冰雹云所对应单体强度

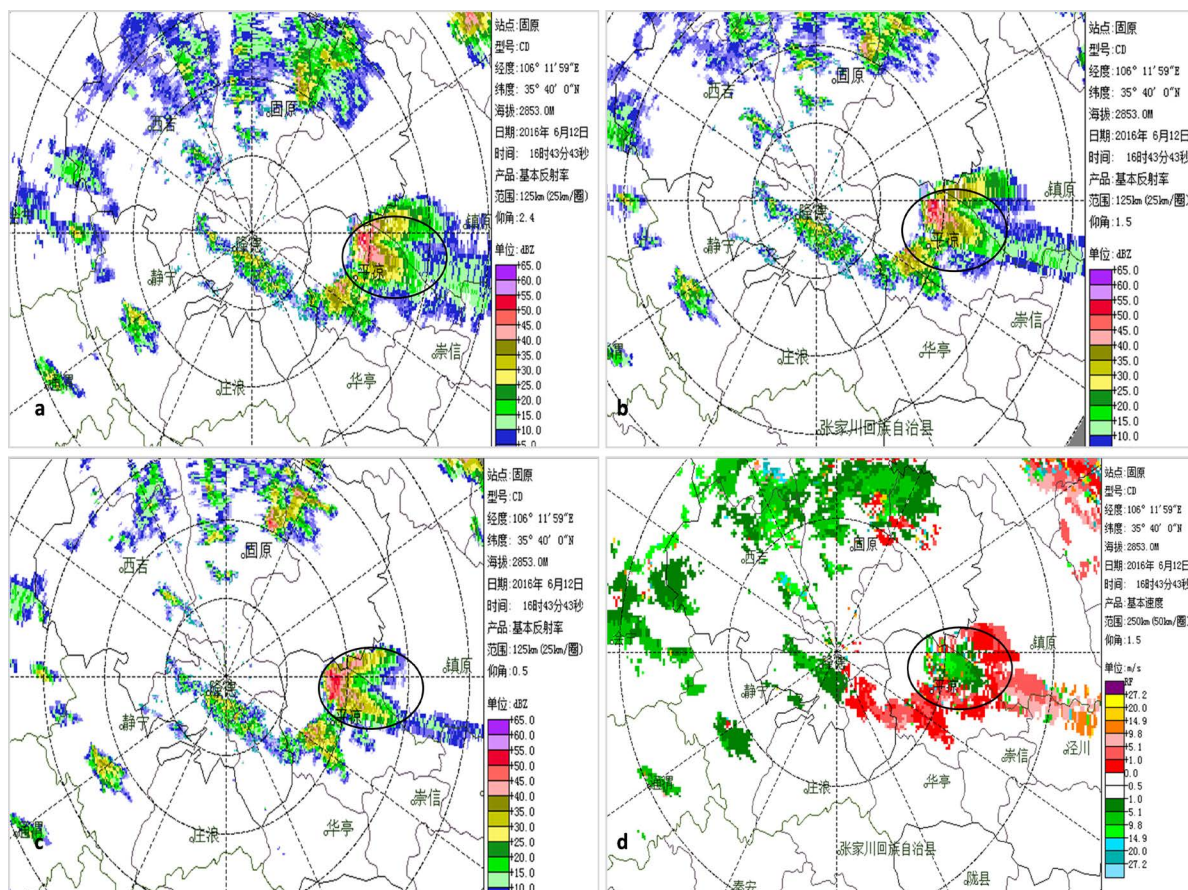


Figure 4. Base reflectivity of 2.4° (a), 1.5° (b), 0.5° (c) and base velocity of 1.5° at 16:43 on June 12th
图 4. 6月12日 16:43 基本反射率 2.4° (a)、1.5° (b)、0.5° (c)、1.5° 基本速度 (d)

超过 50 dBZ 以上及其高值区向上扩展较高的高度，VIL 值要高，具有“V”型槽(缺口)、逆风区等特征。

参考文献

- [1] 王华, 孙继松. 下垫面物理过程在一次北京地区强冰雹天气中的作用[J]. 气象, 2008, 34(3): 16-21.
- [2] 郑媛媛, 愈小鼎, 方翔, 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): 317-338.
- [3] 纪晓玲, 胡文东, 马筛艳, 等. 蒙古冷涡影响下宁夏两次典型冰雹天气对比分析[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(2): 103-109.
- [4] 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.
- [5] 陈晓燕, 罗松, 杨玲. 黔西南州冰雹时空分布及春夏冰雹环境条件分析[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1): 51-55.
- [6] 王若升, 张彤, 樊晓春, 等. 甘肃平凉地区冰雹天气的气候特征和雷达回波分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 373-377.
- [7] 王伏村, 丁荣, 李耀辉, 等. 河西走廊中部冰雹天气的环流和多普勒雷达产品特征分析[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1343-1349.
- [8] 刘玉玲. 对流参数在强对流天气潜势预测中的作用[J]. 气象科技, 2003, 31(3): 147-151.
- [9] 樊李苗, 愈小鼎. 中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 156-165.
- [10] 路亚奇, 曹彦超, 张峰, 等. 陇东冰雹天气特征分析及预报预警[J]. 高原气象, 2016, 35(6): 1565-1576.
- [11] 樊晓春, 曾继荣, 吴颖娟, 等. 甘肃罕见区域性冰雹成因诊断[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(7): 3631-3633.
- [12] 王位泰, 张天峰, 李照荣, 等. 河套一次低涡强冰雹的新一代天气雷达回波研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3540-3543.