

陈军, 李小兰, 喻义军, 等. 贵州铜仁地区一次罕见大范围冰雹过程分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 1047-1053, [CHEN Jun, LI Xiaolan, YU Yijun, et al. Analysis on a Rare Large-range Hail Process on 2 April 2016 in Tongren of Guizhou Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(6): 1047-1053], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-1047

贵州铜仁地区一次罕见大范围冰雹过程分析

陈军¹, 李小兰², 喻义军³, 滕林⁴, 方标¹, 杨群¹

(1. 贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁 554300; 2. 贵州省玉屏县气象局, 贵州 玉屏 554000;
3. 贵州省印江县气象局, 贵州 印江 555200; 4. 贵州省剑河县气象局, 贵州 剑河 556400)

摘要:利用常规观测、地面加密自动站降水、雷达观测及 NCEP/NCAR 再分析资料,对 2016 年 4 月 2 日发生在贵州省铜仁市多个县(区)的一次大范围冰雹天气过程进行分析。结果表明:(1)此次大范围冰雹过程发生在中高层低涡槽后西北冷空气与低层西南暖湿气流叠加的不稳定层结中;强垂直风切变及低层辐合高层辐散有利于对流风暴的发展和维持;(2)中高层干冷空气和边界层弱冷空气入侵是激发强对流产生的有利条件;(3)当铜仁地区地面至 400 hPa 垂直风切变超过 $8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 时,有利于大范围冰雹系统发展;(4)多个对流单体有组织地形成弓形回波,且强回波伸展至 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度之上;有界弱回波区、悬垂回波、三体散射现象表征了冰雹产生的典型特征;降雹点 50 dBZ 以上的强回波顶高在 8.1~9.8 km 之间, VIL 在 38.4~66.8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,这些可作为铜仁地区产生冰雹的重要指标。

关键词:冰雹;干侵入;弓形回波;垂直风切变

文章编号:1006-7639(2016)-06-1047-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-1047

中图分类号:P458.1+21.2

文献标识码:A

引言

冰雹天气是贵州省铜仁市春季主要灾害性天气之一。由于其突发性和剧烈性,给农业生产、人民生命财产等造成了严重经济损失。冰雹是在有利大尺度环境场下的中小尺度系统所产生,做好冰雹等强对流天气的短期、临近预报及监测预警,及时开展防雹人影作业,减少冰雹等强对流天气造成的经济损失仍是当下气象工作者面临的一大难题。

近年来,气象工作者从垂直风切变、层结稳定度、干侵入及预警阈值等方面对冰雹强对流天气过程做了很多研究^[1-15],取得了一定的成果。郑艳等^[1]分析表明,中层干冷气流叠加在低层暖湿气流上形成对流不稳定层结以及低层逆温为不稳定能量积聚提供了有利条件;黄艳^[3]、黄元森^[4]、陈关清^[7]等研究表明,强垂直风切变有利于强对流有组织的发展和维持,对冰雹的产生起到至关重要的作用;邝

美清等^[8]分析表明,冰雹的发生需要较强的垂直温度梯度, $t_{850-500} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$, 上干下湿;袁红松等^[10]研究表明,925—500 hPa 之间强烈的温差是冰雹发生的一个重要特征,强对流天气发生在对流不稳定区的北侧梯度较大地区,冰雹出现在强对流云团移动方向的正前方;王晓玲等^[11]分析指出,当高层有干冷空气,低层暖湿气流发展,垂直温度递减率明显增大,配合对流层低层垂直切变带来的动力抬升作用,易形成降雹;方标等^[15]对贵州铜仁市春季冰雹天气特征进行分析,得出了防雹预警阈值。由于冰雹天气产生具有局地性和地域性差异,特别是西南山区冰雹天气,对其研究仍有必要。本文利用 2016 年 4 月 2 日 08:00—3 日 08:00 常规观测资料、地面加密自动站降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料($1^\circ \times 1^\circ$)以及铜仁新一代多普勒天气雷达资料,对 2016 年 4 月 2 日发生在贵州省铜仁市一次冰雹的大尺度环境背景及中小尺度天气演变特征进行分析,探寻

收稿日期:2016-05-11;改回日期:2016-06-12

基金项目:“基于多普勒雷达速度产品的梵净山区域短时强降水预报预警技术研究(黔科合[2016]支撑 2813)”、“基于‘五实’功能的市级农业气象服务平台建设(黔气科合 ZD[2015]03 号)”、“铜仁冷式和暖式切变型暴雨环流特征及落区分析(黔气科合 QN[2016]09)”、“对流温度在铜仁夏季局地强对流降水预报中的应用(铜气科合[2016]07)”共同资助

作者简介:陈军(1990-)男,助理工程师,本科,主要从事短期天气预报及雷达短临监测预警工作。E-mail:djcl23@163.com

铜仁市强对流天气与各物理参数的关系,为今后铜仁市冰雹天气的监测预报预警提供一定参考。

1 天气实况及环流背景

1.1 天气实况

2016年4月2日20:00—23:00(北京时,下同),贵州省铜仁市石阡县、思南县、江口县、碧江区(铜仁市城区)和玉屏县5个县(区)十几个乡(镇)不同程度地出现雷电、冰雹、雷暴大风、短时强降水等强对流天气(图1)。冰雹直径普遍5~15mm,其中石固镇最大冰雹直径达40mm,部分农作物受冰雹袭击,给农业生产造成严重危害;雷暴大风使得石阡县石固镇等地大树被拦腰截断,村民瓦屋部分瓦片被刮掉损坏;石阡县、江口县、碧江区先后在短短十几分钟内普降中到大雨,最大小时雨量达47mm·h⁻¹。

1.2 环流形势

2016年4月2日20:00,500hPa图上(图2a),中高纬地区为“2槽1脊”型,贝加尔湖东侧为东北冷涡,低涡槽后冷空气不断南下,低纬南支槽位于100°E左右,铜仁市处于南支槽前西南气流中;700hPa图上(图略),急流位于贵州省中部略偏南区域,铜仁市处于西南急流西侧,西南急流风速14m·s⁻¹,切变线位于川—渝北部;850hPa图上(图略),急流位于贵州省南部,铜仁市处于西南急流左前侧,风速12m·s⁻¹,切变线位于黔—湘北部;地面图上(图略),贵州省为热低压控制,热低压中心位于毕节市中部,中心值为1005hPa,地面中尺度辐合线位于安顺—贵阳—铜仁南部一带,地面冷锋位于河套

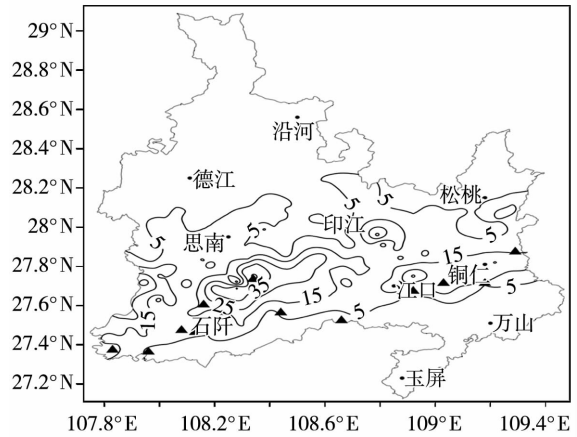


图1 2016年4月2日20:00—23:00贵州省铜仁市降水(实线,单位:mm)分布与冰雹落区(▲为冰雹区)
Fig.1 Spatial distribution of precipitation (solid line, Unit:mm) and hail from 20:00 BST to 23:00 BST on 2 April 2016 in Tongren of Guizhou(▲ for hail area)

南部至黄河下游一带,铜仁市受锋前地面东北方向弱冷空气影响。由中尺度环境场分析可知(图2b),南支槽、低层切变线、低空急流是导致此次强对流发生的主要影响系统。

2 冰雹发生环境场分析

2.1 边界层弱冷空气触发

4月2日强对流发生前,地面气压场上贵州受热低压控制,铜仁市位于热低压东北部,受偏南气流影响,贵州省中部一带存在一地面辐合线,铜仁市南部各区(县)白天最高气温在29℃以上,铜仁本站

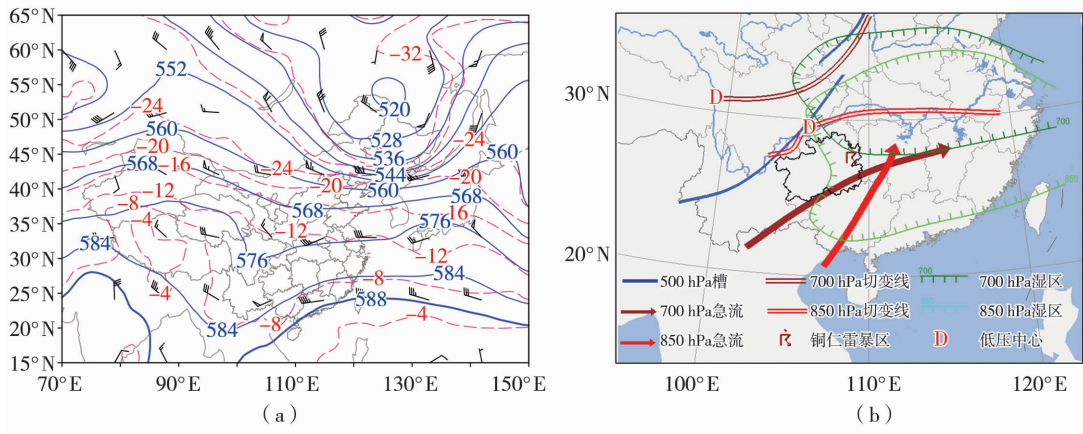


图2 2016年4月2日20:00 500 hPa形势场(a)和中尺度环境场分析(b)
(图a中蓝色实线为高度场,单位:dagpm;红色虚线为温度场,单位:℃;风矢为风场,单位:m·s⁻¹)

Fig.2 The circulation situation field on 500 hPa (a) and meso-scale environmental field analysis (b) at 20:00 BST on 2 April 2016

(In fig. a, the blue solid lines for height field, Unit:dagpm, the red dotted lines for temperature field, Unit:℃, the wind arrows for wind field, Unit:m·s⁻¹)

达 30 °C, 为对流积累了较大的不稳定能量。2 日 18:00—23:00, 位于河套南部的冷锋南压, 贵州东北部由偏南气流逐渐转为东北气流, 北方冷空气渗透并与地面辐合线共同作用而锋生, 促使对流不稳定能量释放, 产生强对流^[16]。从表 1 可知, 4 月 2 日 21:00 后, 江口、铜仁站气压跃增, 气压最大小时升幅达 3 hPa, 同时气温也开始骤降。由于铜仁位于江口东侧、天气系统的下游, 铜仁站温度骤降的时间比江口偏晚, 2 站最大小时降温幅度分别达 4.5、5.5 °C,

降水开始时间分别在 21:00、22:00 以后, 其中 21:36 左右江口县官和乡出现冰雹, 22:40 左右铜仁本站出现冰雹。随着地面弱冷空气的侵入, 铜仁市石阡、思南、江口、碧江等区(县)部分乡镇先后出现了强雷电、冰雹、雷暴大风、短时强降水等强对流天气。由此可知, 铜仁部分区(县)发生冰雹时, 地面为热低压控制, 白天气温较高, 存储了大量不稳定能量。随着北方弱冷空气南下, 热低压减弱略南压西退, 冷空气与地面辐合线作用锋生, 激发强对流天气发生。

表 1 2016 年 4 月 2 日 18:00—24:00 铜仁和江口降水、温度及气压逐时变化

Tab. 1 The hourly evolution of precipitation, temperature and barometric pressure from 18:00 BST to 24:00 BST on 2 April 2016 in Tongren and Jiangkou stations of Guizhou

时间	江口			铜仁		
	温度/°C	气压/hPa	降水/mm	温度/°C	气压/hPa	降水/mm
18:00	28.6	962.5	0	28.0	964.8	0
19:00	25.6	963.8	0	26.5	965.8	0
20:00	23.9	964.6	0	25.6	966.6	0
21:00	23.4	965.4	0	24.6	967.0	0
22:00	18.9	968.3	22.1	23.7	969.4	0
23:00	18.8	968.7	0.1	18.2	970.5	17.3
24:00	18.8	968.3	0	17.9	970.2	0.3

2.2 中高层干侵入

干侵入被定义为来源于对流层顶附近的气流入侵到低层的现象^[17]。不少学者从位涡、假相当位温、相对湿度等角度对干冷空气活动进行了研究^[18-19]。本文主要结合相对湿度和温度的空间分布来分析干侵入的作用, 姚秀萍等^[20]在研究与梅雨锋上低涡降水相伴的干侵入时定义了相对湿度 < 60% 为干区。鉴于此, 从这次过程铜仁地区 (108°E, 27°N) 各层平均相对湿度来看 (图 3), 4 月 2 日 19:00—20:00 强对流发生前铜仁上空的干空气存在于 300—700 hPa 之间, 而 800 hPa 因低空急流维持而存在湿区; 20:00 对流发生后 700 hPa 附近仍然存在相对湿度 < 50% 的干区, 20:00 左右从低层开始湿度逐渐增大, 此时铜仁石阡最早开始出现短时强降水, 30 min 雨强达 42 mm。整个过程铜仁上空持续呈现明显“上干下湿”的不稳定层结。气温场上, 干区温度较低, 干冷空气侵入明显, 有利于强对流产生。

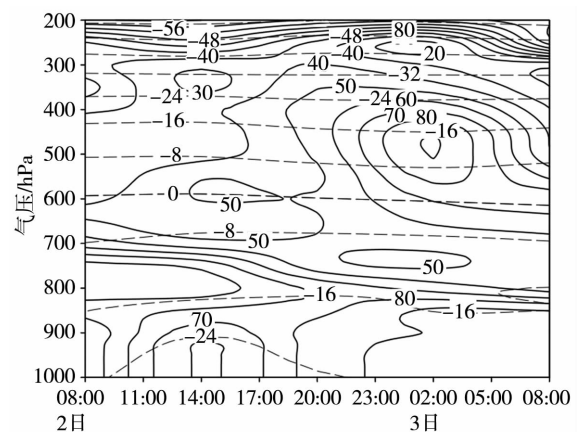


图 3 2016 年 4 月 2 日 08:00—3 日 08:00 铜仁地区 (108°E, 27°N) 平均相对湿度 (实线, 单位: %) 及温度 (虚线, 单位: °C) 时间—高度剖面
Fig. 3 The time-height profiles of average relative humidity (the solid lines, Unit: %) and temperature (the dotted lines, Unit: °C) from 08:00 BST on 2 April to 08:00 BST on 3 April 2016 over site (108°E, 27°N) in Tongren of Guizhou

3 冰雹物理条件分析

3.1 水汽条件

由图 4 可知,铜仁地区发生冰雹等强对流前,850 hPa 高度场上南海—广西—贵州东南部一带存在一支较大的水汽输送通道(图 4),水汽通量中心值达 $50 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。≥ $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南风与偏东风在铜仁市南部辐合,铜仁市南部处于西南急流左前侧风速辐合区、水汽输送最大梯度带处,水汽充沛;地面比湿场上,铜仁市南部处于湿舌顶端,比湿达 $13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从表 2 可以看出,石阡、江口、铜仁站地面温度露点差在强对流刚发生时出现骤降,石阡 20:00—21:00 温度露点差由 $8.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $2.8 \text{ }^\circ\text{C}$,由于干变为湿,江口 21:00—22:00 温度露点差由 $4.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$,铜仁 22:00—23:00 温度露点差由 $4.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由此可见,强对流发生前,低层水汽跃增达到饱和,为强对流提供了充足水汽,强对流发生在地面湿舌顶端、850 hPa 水汽通量最大梯度区。

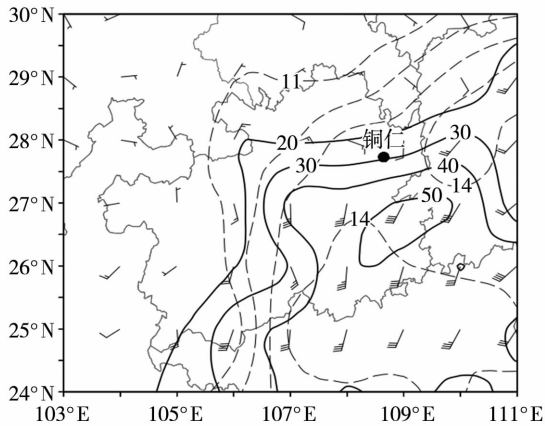


图 4 2016 年 4 月 2 日 20:00 850 hPa 水汽通量(实线,单位: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和比湿(虚线,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)分布

Fig. 4 Distribution of water vapor flux (the solid lines, Unit: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and specific humidity (the dotted lines, Unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) on 850 hPa at 20:00 BST on 2 April 2016

表 2 2016 年 4 月 2 日 18:00—24:00 石阡、江口和铜仁站地面温度露点差(单位: $^\circ\text{C}$)

Tab. 2 The temperature dew - point deficit from 18:00 BST to 24:00 BST on 2 April 2016 in Shiqian, Jiangkou and Tongren stations (Unit: $^\circ\text{C}$)

站点	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
石阡	11.7	9.2	8.1	2.8	2.8	2.2	2.2
江口	10.8	6.6	5.4	4.9	1.3	1.3	1.5
铜仁	9.9	7.9	6.8	6.1	4.9	0.8	0.5

3.2 热力不稳定和动力不稳定条件

雷暴形成的 3 要素分别是水汽、抬升条件和不稳定层结,不稳定层结是强对流天气发生的必要条件。朱乾根等^[21]研究指出,K 指数、SI 指数、对流有效位能(CAPE)等能够反映测站上空的不稳定层结状况。K 指数越大,层结越不稳定,当 K 指数 $> 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 时会出现成片的雷暴^[22]。然而,在 K 指数指示的不稳定区域里,常受气流辐合辐散的影响,K 指数不能明显表示出整个大气的层结不稳定程度,使用 K 指数时应理解其物理意义,而不是单纯的关注数值的大小。SI 指数反映了大气的稳定性,其值越小越有利于雷暴的发生,当 $-6 \text{ }^\circ\text{C} < \text{SI} < -3 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,有可能发生强雷暴^[22]。对流温度(T_c)对局地对流云的预报有一定指示意义^[23-24]。CAPE 指示了大气潜在的不稳定能量,其值越大大气越不稳定,当有触发条件时,其能量才会释放出来。强天气威胁指数(SWEAT)综合反映了不稳定能量与风速垂直切变及方向垂直切变对风暴强度的影响,当发生强雷暴时其临界值为 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。0 $^\circ\text{C}$ 层和 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度是业务工作中识别冰雹云特征的主要参数^[25],其中 0 $^\circ\text{C}$ 层高度越高,则雹块下落时经过的暖层越厚,易融化成雨滴,不利于出现大冰雹,一般 0 $^\circ\text{C}$ 层高度在 600 hPa 上下; $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度表示中高层冷空气入侵,高度一般在 400 hPa 左右时有利于冰雹生成。廖晓农等^[26]分析指出,当 0 $^\circ\text{C}$ 层与 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 层之间的厚度较小时,说明中层不稳定,更利于冰雹形成。

湖南怀化探空站临近铜仁,其探空资料对铜仁强对流的发生有很好的指示意义。表 3 是 2016 年 4 月 2 日 08:00 和 20:00 怀化探空站几种不稳定参量值。可知,强对流发生前怀化探空站的 SI 指数明显减小,由 08:00 的 $-0.09 \text{ }^\circ\text{C}$ 减至 20:00 的 $-4.55 \text{ }^\circ\text{C}$;CAPE、SWEAT 指数明显增加,CAPE 由 08:00 的 $0 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 剧增至 20:00 的 $1382.5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,SWEAT 指数由 08:00 的 352.7 增至 20:00 的 431.1(超出临界值 300),预示着铜仁有发生强雷暴的可能。08:00, T_c 为 $27.2 \text{ }^\circ\text{C}$,而白天最高气温为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$,比 T_c 高出 $2.8 \text{ }^\circ\text{C}$,对午后对流云的生成有一定的指示作用。从怀化探空站热力参数资料(图略)可知,20:00 怀化 K 指数为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,较 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 小得多。其原因可能是此次强对流天气发生前,干层较厚,从高层一直延伸至 750 hPa 附近,而湿层相对较浅,因此 K 指数较小。此外,铜仁南部强对流发生前,怀化站 0 $^\circ\text{C}$ 层高度明显升高,由 08:00 的 4252.9 m 升至 20:00 的 4523.8 m ,而 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度变化不大,由 08:00 的 7350.0 m 降至 20:00 的 7336.4 m 。可

见,20:00的0℃层与-20℃层之间的厚度较08:00明显减少,中层不稳定增强,有利于冰雹产生。

表3 2016年4月2日08:00和20:00怀化探空站各项热力不稳定参量值

Tab.3 The value of thermal unsteady indexes at Huaihua radiosonde station of Hu'nan at 08:00 BST and 20:00 BST on 2 April 2016

时间	SI/℃	CAPE/J·kg ⁻¹	T _c /℃	SWEAT	0℃层高度/m	-20℃层高度/m
08:00	-0.09	0	27.2	352.7	4 252.9	7 350.0
20:00	-4.55	1 382.5	30.2	431.1	4 523.8	7 336.4

陈关清等^[27]分析得出,铜仁地区冰雹发生时垂直风切变在 $4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上。图5显示,冰雹发生前垂直风切变较大,铜仁地区垂直风切变 $>8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,最大达 $8.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,这表明降雹前动力不稳定性增强。

综上所述,此次冰雹发生在干层厚、湿层浅的不稳定层结内,较强的垂直风切变有利于冰雹产生。

4 雷达回波特征

4.1 弓形回波及有界弱回波

4月2日19:40(图略),遵义市余庆县境内的回波移入铜仁市西部石阡县境内,回波呈南北带状分布,且存在2个回波 $>50 \text{ dBZ}$ 的强中心,并发展东移;19:56(图略),2个强回波之间有1个新的对流单体生成并加强发展;20:06(图6a),3个对流

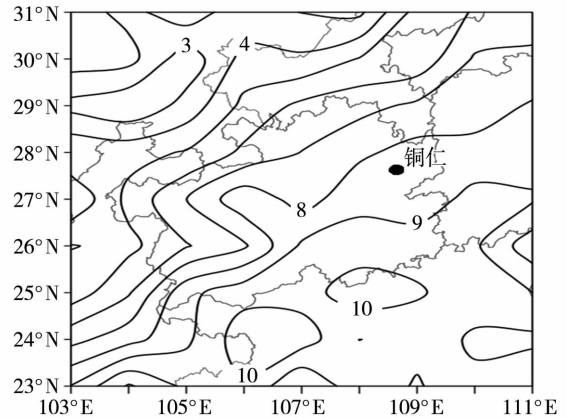


图5 2016年4月2日20:00怀化探空站垂直风切变分布(单位: 10^{-3} s^{-1})

Fig.5 The distribution of vertical wind shear (Unit: 10^{-3} s^{-1}) at Huaihua station of Hu'nan at 20:00 BST on 2 April 2016

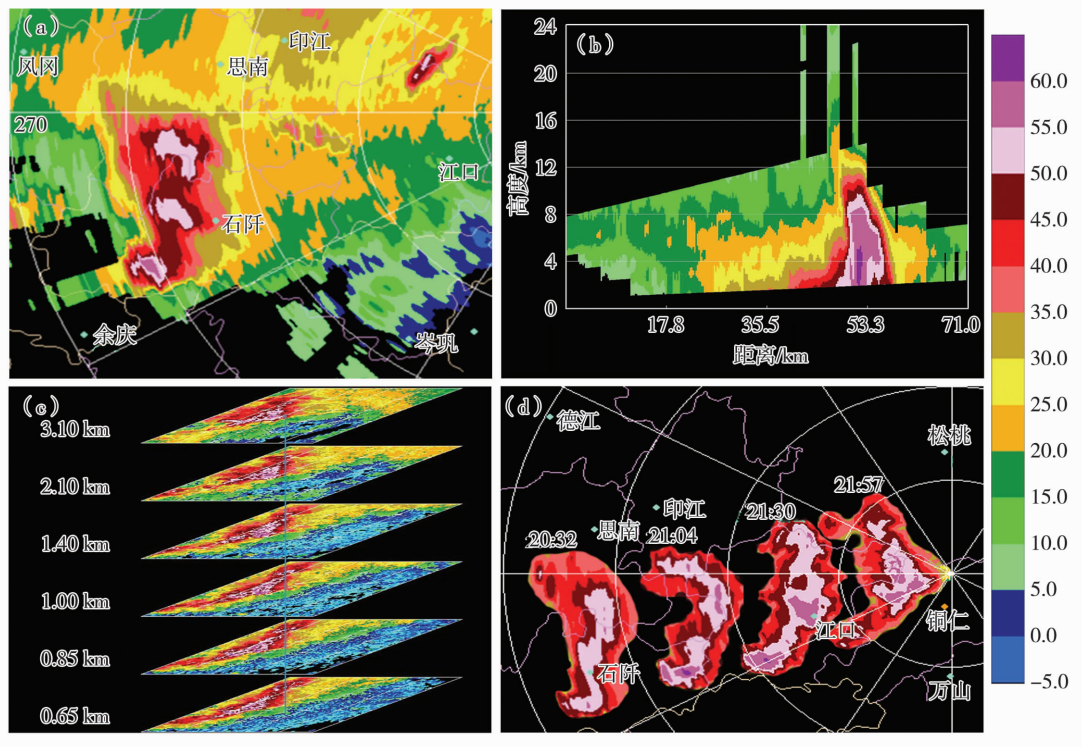


图6 2016年4月2日20:06铜仁站雷达组合反射率(a)、强回波中心剖面(b)及弓形回波不同高度的反射率因子(c)和移动方向(d)(单位:dBZ)

Fig.6 The composite reflectivity (a), section of strong echo center (b) and the reflectivity factor at different heights (c) and moving direction (d) of bow echo in Tongren station at 20:06 BST on 2 April 2016 (Unit: dBZ)

单体风暴并列形成完整的弓形回波,弓形回波南端为一强中心,中心值 >55 dBZ,其南侧有一明显的入流缺口,径向方向出现了弱的“三体散射长钉”特征。对这一强中心做剖面(图 6b)可知, > 50 dBZ 的强回波顶高度延伸至 10 km 左右, > 60 dBZ 的强回波质心在 4 km 左右,有利于冰雹的产生。另外,有界弱回波区和悬垂回波特征明显,表征了有冰雹产生。弓形回波发展东移,在东移过程中不断有新的对流单体生成、发展、消亡,形成有组织的多单体风暴。21:57,弓形回波移入碧江区境内,且弓形回波发展深厚,强中心从低层一直延伸至 3.0 km 高度以上(图 6c)。总体来看,20:06—21:57,弓形回波从西部石阡县境内生成且发展东移,沿途经江口县和铜仁城区(图 6d),维持时间较长,造成多个乡镇产生冰雹。

4.2 辐合与辐散

图 7 给出铜仁地区强对流发生时不同仰角的径

向速度。可以看出,4 月 2 日 21:15,0.5° 仰角上(图 7a)低层有强烈的辐合特征,且出现了速度模糊(图中黑色圈内冷色调里围着一块暖色调区域),通过去除速度模糊后,其风速约为 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明低层气流辐合强烈;在 9.9° 仰角上(图 7b),出现了明显的气流辐散。这种低层辐合、高层辐散结构有利于对流风暴的发展和维持。

4.3 降雹区 VIL 及强回波顶高

从表 4 各乡(镇)雹区的垂直累积液态含水量(VIL)和 50 dBZ 以上强回波顶的高度可见,降雹区的 VIL 值普遍超过 $38 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,其中聚凤乡最大达 $66.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$;50 dBZ 以上强回波顶的高度普遍 > 8 km,其中白沙乡最大达 9.8 km。由此可知,铜仁市此次区域性降雹 VIL 在 $38 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上,50 dBZ 以上的强回波顶高度达 8 km 以上,这对短临预报预警及人影防雹作业具有一定指导意义。

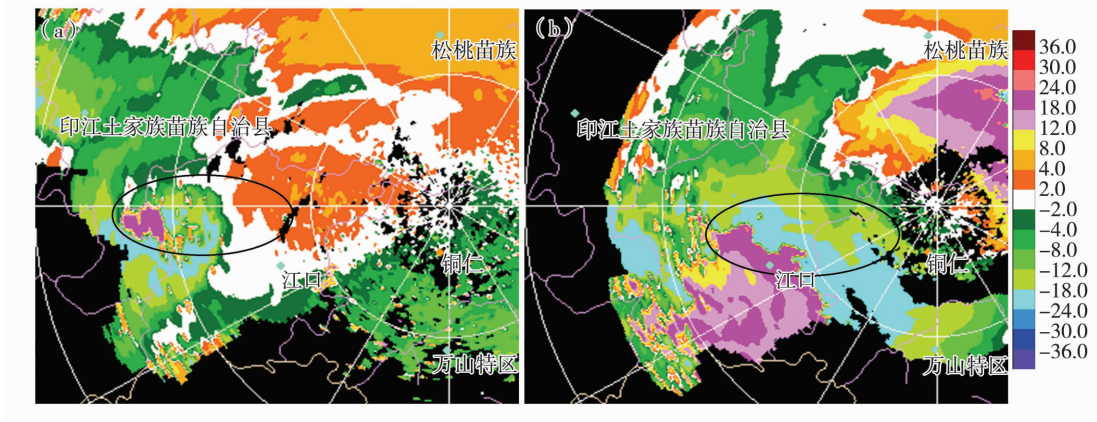


图 7 2016 年 4 月 2 日 21:15 铜仁站多普勒雷达 0.5°(a)、9.9°(b) 仰角径向速度图(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (椭圆区为辐合辐散区)

Fig. 7 The radial velocity on 0.5° (a) and 9.9°(b) elevation of Doppler radar in Tongren station of Guizhou at 21:15 BST on 2 April 2016 (Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (The ellipse area for convergence and divergence area)

表 4 2016 年 4 月 2 日铜仁地区降雹点 VIL 及 50 dBZ 以上强回波顶高

Tab. 4 The VIL and height of strong echo top with more than 50 dBZ in hail points of Tongren on 2 April 2016

	河坝场	聚凤	白沙	国荣	石固	大坝场	官和	铜仁城区	铜仁机场
VIL/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	64.7	66.8	49.1	44.1	44.1	38.4	44.1	42.5	45.2
50 dBZ 以上回波顶高/km	8.2	9.1	9.8	9.7	8.5	8.1	8.7	9.1	8.7

5 结 论

(1) 贵州铜仁此次大范围冰雹过程是发生在中高层干冷空气与低层西南暖湿气流叠加形成的不稳定环境里,南支槽、低层切变线、低空急流和地面中尺度辐合线是导致强对流发生的主要影响系统。

(2) 冰雹发生前地面为热低压控制,白天存储

了大量不稳定能量,当冷空气与地面辐合线作用锋生,激发了强对流天气发生;中高层干侵入明显,形成“上干下湿”的不稳定层结,有利于强对流的产生。

(3) 冰雹发生前各热力指数较高,CAPE 值达 $1400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,SI 指数 < $-4 \text{ } ^\circ\text{C}$, T_c 较低,SWEAT 指数达 400 以上,这些可作为冰雹发生的有利指标;0 °C 层和 -20 °C 层分别在 4.5 km 和 7.3 km 左右,

为冰雹提供了有利环境;整个冰雹过程铜仁地区垂直风切变较大,达 $8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上。

(4)多个对流单体风暴并列形成弓形回波,强回波中心在 $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 层之上;有界弱回波区、悬垂回波及三体散射现象表征了冰雹发生的典型特征;降雹点50 dBZ以上的强回波顶高在8.1~9.8 km之间,VIL在38.4~66.8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,这些可作为铜仁地区冰雹发生的重要预报指标。

参考文献

- [1] 郑艳,李云艳,蔡亲波,等. 海南一次罕见强冰雹过程环境条件与超级单体演变特征分析[J]. 暴雨灾害,2014,33(2):163-170.
- [2] 丁建芳,杜春丽,鲍向东,等. 一次冰雹云过程及其冰雹形成机制的模拟研究[J]. 气象与环境科学,2014,37(2):49-57.
- [3] 黄艳,裴江文. 2012年新疆喀什一次罕见冰雹天气的中尺度特征[J]. 干旱气象,2014,32(6):989-995.
- [4] 黄元森,丁光义,陈小梅. 2012年2月23日一次冰雹过程的中尺度特征分析[J]. 福建气象,2013(2):6-10.
- [5] 吕学东,肖鹏,于竹娟,等. 四川盆地东北部春夏两次冰雹天气过程对比分析[J]. 高原山地气象研究,2013,33(1):52-57.
- [6] 杨敏,丁建芳. 河南省冰雹时空分布及天气形势特征[J]. 气象与环境科学,2015,38(1):54-60.
- [7] 陈关清,方标. 贵州铜仁暴雨和冰雹雷达回波特征对比分析[J]. 气象研究与应用,2015,36(1):72-75.
- [8] 邝美清,蒋宗孝,张家斌,等. 2013年3月20日三明市大范围冰雹过程分析[J]. 广东气象,2014,36(5):36-40.
- [9] 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.
- [10] 袁红松,廖忠辉,彭辉志,等. 湘潭市一次冰雹天气过程分析[J]. 贵州气象,2014,38(6):30-33.
- [11] 王晓玲,龙利民,王珊珊. 一次春季冰雹过程的成因分析[J]. 暴雨灾害,2010,29(2):160-165.
- [12] 张雷,石汉青,燕亚非,等. 西藏冰雹的气候特征[J]. 高原山地气象研究,2012,32(1):56-60,76.
- [13] 丁建芳,刘磊,鲍向东,等. 三门峡一次冰雹天气多普勒雷达资料分析[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):49-53.
- [14] 丁小剑,唐明晖,陈德桥. 两次冰雹过程多普勒天气雷达产品的对比分析[J]. 气象与环境科学,2010,33(2):42-47.
- [15] 方标,严小冬,方可,等. 贵州铜仁市春季冰雹天气特征及防雹预警阈值[J]. 贵州农业科学,2014,42(3):212-218.
- [16] 崔庭,杜晓玲,孙旭东. 地面辐合线锋生激发黔西南州冰雹天气的个例分析[J]. 云南地理环境研究,2013,25(2):101-105.
- [17] 刘会荣,李崇银. 干侵入对济南“7.18”暴雨的作用[J]. 大气科学,2010,34(2):374-386.
- [18] 陶祖钰,周小刚,郑永光. 从涡度、位涡、到平流层干侵入——位涡问题的缘起、应用及其歧途[J]. 气象,2012,38(1):28-40.
- [19] 汤鹏宇,何宏让,阳向荣,等. 北京“7.21”特大暴雨中的干侵入分析研究[J]. 高原气象,2015,34(1):210-219.
- [20] 姚秀萍,吴国雄,赵兵科,等. 与梅雨锋上低涡降水相伴的干侵入研究[J]. 中国科学,2007,37(3):417-427.
- [21] 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,2000:436-460.
- [22] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社,2005:216-217.
- [23] 李耀东,刘健文,吴洪星,等. 对流温度含义阐释及部分示意图隐含悖论成因分析与预报应用[J]. 气象学报,2014,72(3):628-637.
- [24] 束宇,姜有山,张志刚. 对流温度在局地热对流降水预报中的应用[J]. 气象,2015,41(1):52-58.
- [25] 雷雨训,吴宝俊,吴正华. 冰雹概论[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [26] 廖晓农,俞小鼎,于波. 北京盛夏一次罕见的大雹事件分析[J]. 气象,2008,34(2):10-17.
- [27] 陈关清,杨群,李伟栋,等. 贵州铜仁连续两次冰雹天气过程的对比分析[J]. 干旱气象,2016,34(1):163-172.

Analysis on a Rare Large-range Hail Process on 2 April 2016 in Tongren of Guizhou Province

CHEN Jun¹, LI Xiaolan², YU Yijun³, TENG Lin⁴, FANG Biao¹, YANG Qun¹

(1. Tongren Meteorological Bureau of Guizhou Province, Tongren 554300, China; 2. Yuping Meteorological Station of Guizhou Province, Yuping 554000, China; 3. Yinjiang Meteorological Station of Guizhou Province, Yinjiang 555200, China; 4. Jianhe Meteorological Station of Guizhou Province, Jianhe 556400, China)

Abstract: Based on the conventional observation data, precipitation data from automatic weather stations, the reflectivity and radial velocity of Doppler radar at Tongren station and NCEP reanalysis data with $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ spatial resolution, a rare large area hail weather process occurred in Tongren of Guizhou Province on 2 April 2016 was diagnosed and analyzed. The results are as follows: (1) The large-range hail weather process occurred in the unstable stratification which the dry and cold northwest air behind the trough in upper and middle levels overlaid on the warm and moist southwest airflow in lower layer. The strong vertical wind shear and lower level convergence and upper level divergence were conducive to the development and maintenance of convective storms. (2) The intrusion of dry cold air in upper layer and weak cold air in boundary layer were favorable to stimulate the strong convection. (3) It's conducive to the development of large-range hailstorm system when the vertical wind shear from ground to 400 hPa over Tongren surpassed $8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. (4) The multiple convective cells organically formed a bow echo, and the strong echo with the reflectivity over 50 dBZ stretched to the height of $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ layer above. The boundary weak echo region, echo overhang and three-body scattering phenomenon were typical characteristics of hail weather. The echo top height of strong echo with reflectivity over 50 dBZ in hail points was 8.1 km to 9.8 km, and the vertical integrated liquid (VIL) was 38.4 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ to 66.8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, which can be regarded as important prediction indicators of hail in Tongren region.

Key words: hail; dry intrusion; bow echo; vertical wind shear