

文章编号: 2096-1618(2020)06-0663-08

贵州威宁典型雹暴天气特征研究

向淑君¹, 周筠珩^{1,2}

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044)

摘要:为提高冰雹多发、地形复杂的贵州威宁地区冰雹预报准确率,利用探空资料、NCEP(0.5°×0.5°)逐6 h再分析资料、多普勒双偏振雷达资料,对2018年25个冰雹天气的环境条件演变特征进行分类对比研究。结果表明:(1)以500 hPa主要影响系统将2018年贵州威宁冰雹天气分3类,高原槽型在云贵川小槽影响下水汽垂直输送等条件主要存在于中层。南支槽型主要在中层冷平流的动力强迫下触发对流,水汽垂直输送等条件主要存在于中低层。副高型主要在热低压影响下形成位势不稳定,整层都处在较强的不稳定、抬升条件中,水汽以水平积聚为主。(2)以 $SI < -0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $BLI < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $(T-T_d)_{700} < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、垂直速度位于 $-0.2 \times 10^{-2} \sim -1.2 \times 10^{-2}\text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 、垂直风切变大于 $12\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 判定3类过程环境条件时,总体趋势有相似的分布特征,可捕获至少50%的冰雹日。(3)冰雹典型回波特征结合 $H_{40}-H_0$ 阈值识别雹暴单体的方法,可提高正确率、降低漏报率。这些物理量指标为贵州威宁冰雹天气潜势预报提供了客观统计基础,可为预报预警提供一定参考依据。

关键词:气象学;强对流;雹暴;环流背景;环境物理量;雷达回波

中图分类号:P458.1+21.2

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.06.013

0 引言

雹暴是贵州常见的灾害天气之一,常对农作物造成严重危害,带来极大的经济损失,严重时还会影响人们的生活、危及生命财产安全。贵州威宁为冰雹多发区,每年都会有冰雹发生,影响农业生产、民众生活,全面认识威宁冰雹特征,提高威宁冰雹预报预警准确率,是针对威宁冰雹研究的重点。

对于雹暴天气的预报,目前主要以天气形势主观分析结合环境参数诊断分析对强对流天气进行潜势预报^[1],结合回波特征进行预报预警。边界层辐合线、地形、海陆分布、重力波等中小尺度天气系统都是对流活动的触发抬升机制^[2-3]。干冷空气入侵、垂直风切变、高低空急流的耦合都是促进对流持续发展的重要环境条件^[4]。不同环境条件下,强对流的触发维持机制等会有所不同^[5-6]。对贵州地区冰雹环境场的研究中,利用三维冰雹云模式模拟研究发现黔东南地区低0℃层高度、地面气流辐散区为对流发展提供了良好的热动力条件^[7]。贵州铜仁冰雹过程主要是中层干冷空气的入侵激发对流,强垂直风切变维持对流发展^[8]。对于强对流系统的结构特征,主要通过雷达回波分析。强冰雹的单体易出现三体散射、有界弱回波、

回波悬垂、中气旋、三体散射长钉等特征^[9-10]。对于不同地域的强对流单体回波特征也存在一定差异^[11-13]。刘小艳等^[14]基于安顺冰雹的回波特征总结了一些能有效指导防雹工作的识别指标。陈军等^[8]通过分析铜仁冰雹回波特征,总结了有关回波顶高、VIL的冰雹指标。除利用典型回波特征主观识别强对流单体外,Donavon使用50dBZ回波高度和MLT结合的方法判别雹暴^[15]。以上研究通过环境背景场特征、雷达回波特征,分析不同物理机制下的强对流个例。通过环流形势、物理量、雷达产品特征了解不同地区环境条件、触发维持机制、对流结构特征,总结相关指标用于雹暴预报预警。对于像贵州威宁这样冰雹多发、地形复杂特定区域的雹暴研究不多,结合各尺度特征分析得出相关物理量指标的研究较少。文中针对威宁雹暴分类分析其环境背景场特征,提炼出结合当地特征的物理量指标进行指示预测,将会达到更好的预报效果。

1 资料方法

主要利用2018年威宁站08时探空资料、NCEP(0.5°×0.5°)逐6 h再分析资料、多普勒双偏振雷达观测资料,在天气学原理和数理统计理论指导下,根据500 hPa主要影响系统对威宁冰雹日分类,分析不同类型雹暴天气的环境条件和对流结构特征,了解不同环境背景下雹暴回波特征。计算表征不稳定、水汽、辐合抬升条件的相关物理量,总结对冰雹预警有指示意义

收稿日期:2019-12-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41875169);国家重点研发计划资助项目(2018YFC1505702);贵州省科技计划资助项目(黔科合支撑[2019]2387号);四川省教育厅资助项目(16CZ0021)

的物理量分布特征,为冰雹预报预警提供参考依据。有助于提高对不同类型环流背景下冰雹天气的短时、临近预报水平。其中雷达回波资料采用的是位于威宁县雪山镇的X波段双偏振雷达观测数据,其采用VCP21扫描模式,可得到有效范围75 km内的基本反射率因子、径向速度、差分反射率因子等数据产品。

2 天气形势分类

威宁位于云贵高原东部地区乌蒙山腹地,纬度低、海拔高,平均海拔2.2 km。具体经纬度为东经103°36′~104°45′,北纬26°30′~27°25′。威宁近年来冰雹灾害频发,利用贵州威宁2018年25个冰雹个例对其天气特征进行研究分析。以高空500 hPa主要影响系统将冰雹日的环流形势分为高原槽型、南支槽型、副高型3类(表1)。

表1 雹暴个例基本情况表			
降雹时间	降雹地点	密度 (粒/m)	类型
3月12日17:45-17:55	幺站镇	700~1000	高原槽型
3月13日16:26-17:04	金钟镇 龙场镇	100~200 800~1000	南支槽型
3月14日17:56-17:59	中寨村	300	高原槽型
3月23日17:51-17:55	幺站镇	30~40	高原槽型
3月26日14:45-14:50	幺站镇	700~1000	南支槽型
3月30日22:55-22:58	炉山镇	100	高原槽型
3月31日01:12-01:15	炉山镇	20	南支槽型
4月1日19:43-19:46	麻乍乡	80	南支槽型
4月2日16:05-08:00	炉山镇	10	南支槽型
4月17日17:05-17:09	云贵乡	300~500	高原槽型
4月18日17:10-17:20	县城内	100	高原槽型
4月25日13:41-13:45	麻乍乡	200~300	南支槽型
4月28日15:29-15:31	金钟镇	10	高原槽型
4月29日15:57-16:01	上关口镇	100	南支槽型
4月30日17:43-17:50	兔街乡	150	高原槽型
5月7日16:30-16:32	牛棚镇	50~60	高原槽型
5月8日17:55-18:05	幺站镇	600	高原槽型
5月17日17:04-17:09	小海镇	10	高原槽型
5月18日17:03-17:11	双龙镇	30	高原槽型
5月20日18:32-18:35	嘎基村	40	高原槽型
6月27日20:30-20:32	石门乡	200	副高型
6月28日15:40-15:43	牛棚镇	200	副高型
7月21日16:51-16:55	迤那镇	20~30	副高型
7月22日12:01-12:26	哈喇河乡 龙场镇	10 1000	副高型
7月23日16:02-16:05	云贵乡	100	副高型

3月12日、4月25日、7月22日分别为高原槽型、南支槽型、副高型个例。各类型冰雹日的环流形势特征可通过图1中的个例体现。高原槽型的环流形势特

点为:500 hPa中高纬呈现稳定的一槽一脊或两槽一脊形势,有利于北方冷空气沿新疆南下向中国西南地区输送。冷涡分裂的小槽东移携带冷空气南下,小槽从青藏高原东移至云贵川地区触发维持强对流生成发展。主要以云贵川小槽触发维持对流发生发展,结合高低空急流、切变线为强对流提供良好动力抬升背景。南支槽型的环流形势特点为:500 hPa南支槽影响下中国西南地区处于西南气流控制下,绕青藏高原南下的冷平流沿西南气流影响降雹地。中层干冷空气向降雹地输送,上干下湿的层结条件形成对流不稳定环境,在冷平流的动力强迫作用下触发对流形成。副高型主要的环流形势特点为:500 hPa中国中东部地区处于副热带高压控制下。降雹地位于副热带高压轴前沿,偏东气流为降雹地带来干暖空气;副高北侧冷空气入侵促进对流不稳定形成。副高前沿的切变线触发维持对流发展。常在低层热低压作用下,以地面干线等系统触发对流发生发展。

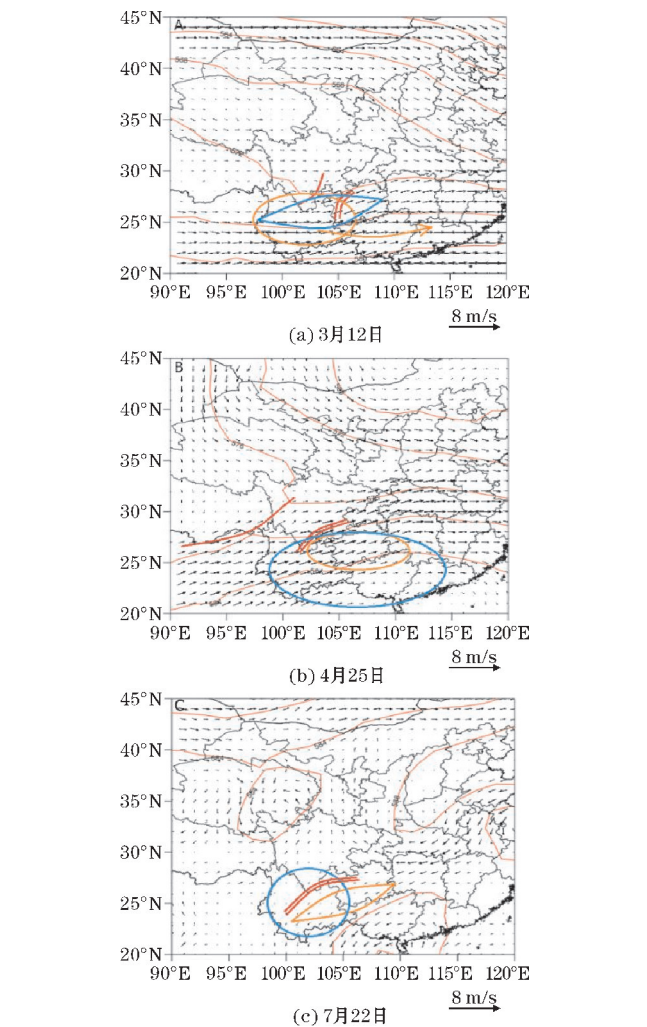


图1 2018年3月12日、4月25日、7月22日天气分析
(红色实线为500 hPa槽线,橙色区域为500 hPa干区,红色双实线为700 hPa切变线,橙色箭头为700 hPa急流,蓝色区域为700 hPa湿区)

3 环境场物理量特征

利用 NCEP 再分析资料计算得 θ_{se} 、水汽垂直螺旋度、热力切变平流参数、水汽通量散度、垂直速度与威宁站探空资料计算得出的 SI 指数、BLI 指数、温度露点差、垂直风切变等,可用于分析各类型雹暴日环境条件特征。

3.1 不稳定条件特征

高原槽型主要受北方强冷空气影响形成不稳定层结,高空冷空气沿槽后西北气流南下输送至低层暖湿

空气之上,对流层中高层形成不稳定层结条件, θ_{se} 主要在对流层中高层垂直梯度明显。3 月 12 日北方冷空气下滑趋势明显,降雹地中高层 θ_{se} 垂直梯度大,为显著对流不稳定(图 2a)。南支槽型冷空气主要沿偏西气流从中层入侵与低层湿区重叠在对流层中低层生成不稳定层结区域。4 月 25 日 500 hPa 以下 θ_{se} 随高度迅速减小,等值线相对密集,存在显著对流不稳定(图 2b)。副高型在副高和低层热低压影响下,降雹地整层为暖气团控制,副高北侧冷空气入侵降雹地整层存在不稳定形势。7 月 22 日高层冷空气向南伸, θ_{se} 等值线密集并且在垂直方向呈现一定梯度,整层存在显著对流不稳定形势(图 2c)。

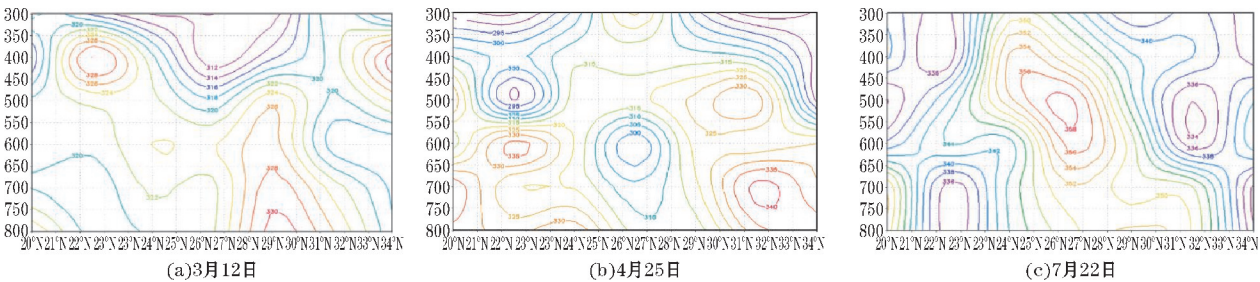


图 2 θ_{se} 沿 104°垂直剖面

由于冷空气入侵层次和强度不同,3 种类型的不稳定条件特征都有一定差异,但用 SI 指数、BLI 指数对整层不稳定条件进行潜势判定时,各类型都遵循相似趋势(图 3)。因此可根据统计情况选取阈值为预报预警提供相关依据。将 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 作为判定阈值范围时,每种类型都可捕捉至少 75% 的冰雹日(图 3), $BLI < 0$ 可捕捉到接近 50% 的冰雹天气(表 2)。据统计可选择 $SI < -0.02^{\circ}\text{C}$ 和 $BLI < 0^{\circ}\text{C}$ 作为冰雹天气预警指标,结合 θ_{se} 分布趋势进行具体分析,可了解个例不稳定条件特征、类型。

表 2 2018 年冰雹日物理量参数分布情况 单位: $^{\circ}\text{C}$

数值	SI	BLI
最大值	8.89	3
最小值	-2.19	-8.1
25 百分位数	-2.255	1
中位数	-0.98	0
75 百分位数	-0.02	-1
平均值	1.07	0.16

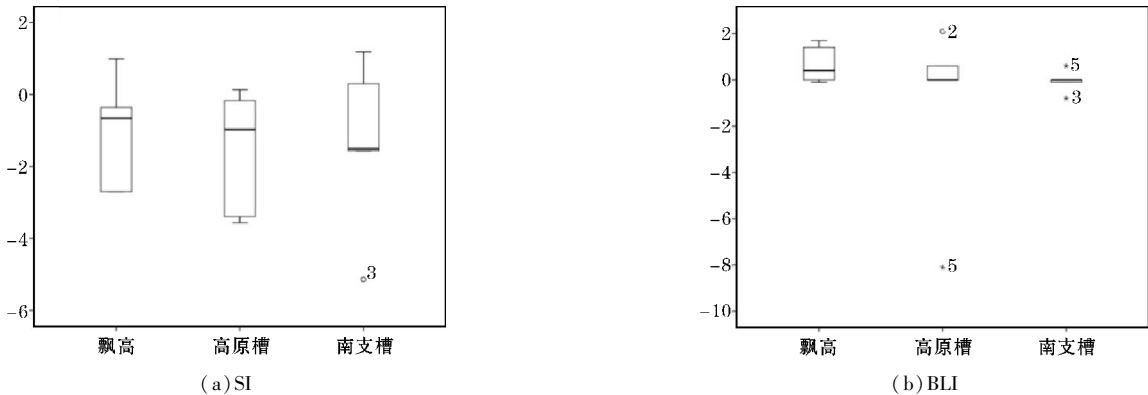


图 3 不同类型冰雹日沙氏指数与抬升指数箱线图

3.2 水汽条件特征

水汽垂直螺旋度是垂直螺旋度与有关水汽物理量比湿的乘积,能反映水汽通量涡度的垂直输送情况^[16]。因此可利用温度露点差、水汽通量及其散度、水汽垂直

螺旋度分析各类型雹暴日水汽条件特征。

$$H_p = \frac{W}{\rho} \left[\frac{\partial(vq)}{\partial x} - \frac{\partial(uq)}{\partial y} \right]$$

式中 H_p 表示水汽垂直螺旋度, ω 是垂直方向的速度, ρ 是密度, q 是比湿, u 、 v 是风速。高原槽型主要受低空急

流影响给降雹地区不断输送水汽,在此影响下,3月12日贵州西部存在水汽通量辐合中心达到 $-1.5\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ (图4a)。低空急流带来的水汽随着中低层的辐合抬升运动向上输送,水汽垂直螺旋度大值中心在700 hPa附近,对流层低层有明显水汽垂直输送现象(图5a)。南支槽型主要受深厚低槽与强西南气流影响,低层有明显水汽输送和辐合。4月25日贵州

水汽通量辐合中心达到 $-2.5\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ (图4b),水汽垂直螺旋度大值区在600 hPa以下,低层有水汽辐合抬升运动(图5b)。副高型在低层偏东气流影响下,降雹地低层有明显水汽水平输送与积聚。7月22日水汽有沿偏东气流的水平输送,呈弱辐散形势(图4c),水汽无明显垂直输送(图5c)。

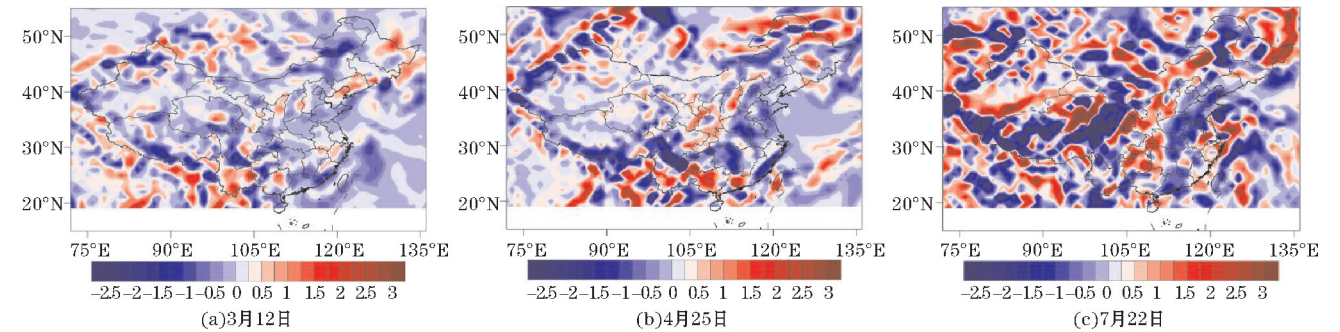


图4 水汽通量散度图

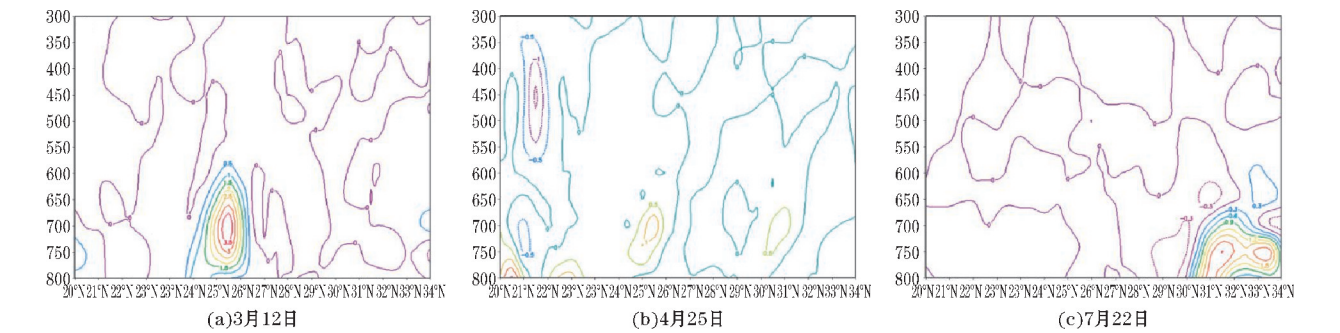


图5 水汽垂直螺旋度沿104°垂直剖面

高原槽型、南支槽型的水汽垂直输送条件较好,降雹地中低层存在水汽垂直螺旋度大值区。副高型垂直输送较弱,水汽主要依靠水平输送积聚。通过主观趋势分析可知水汽主要在低层700 hPa附近积聚,通过700 hPa温度露点差诊断水汽条件,90%冰雹日700 hPa温度露点差小于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,低层水汽接近饱和;与

水汽通量及其散度、水汽垂直螺旋度分析结果一致。据统计,南支槽型75%的个例温度露点差达到 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,有更好的水汽条件(图6)。总体冰雹日温度露点差的第80百分位数为 $4.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (表3),根据温度露点差小于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,每种类型都可捕获到超过50%的冰雹日,总体可捕捉80%的冰雹日。

表3 2018年冰雹日温度露点差分布情况

因子	最大值	最小值	平均值	第25百分位数	第50百分位数	第75百分位数	第80百分位数
$(T-T_d)_{700}$	12.0	1.0	3.3	1.0	2.0	4.0	4.8

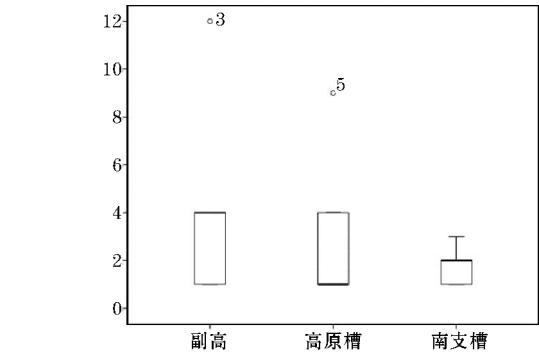


图6 各类型冰雹日700 hPa温度露点差箱线图

3.3 辐合抬升条件特征

热力切变平流参数将垂直切变、水平梯度与散度、广义位温等热动力因素相结合,可表征风场垂直切变和低层辐合高层辐散的动力学结构特征^[17]。

$$J=-\left(\frac{\partial u}{\partial p}\frac{\partial \theta^*}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial p}\frac{\partial \theta^*}{\partial y}\right)+\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\frac{\partial \theta^*}{\partial p}$$

式中, J 为热力切变平流参数, u 、 v 分别为 X 方向、 Y 方向的速度分量, θ^* 为广义位温。高原槽型在云贵川小槽作用下中层对流发展强盛,对流层中低层热力切变平流参数易形成异常值区域。3月12日降雹地上方

正值区域,中心值达到 $8\times10^{-8}\text{K}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 位于600 hPa(图7a)。南支槽型垂直方向上动力抬升条件不强,主要靠中层强风切变维持中层对流发展,热力切变平流参数异常值区常位于中层(图7b)。4月25日,700 hPa切变线结合地面辐合线触发对流,低层位于热力切变平流参数正值区域。中层强风切变作用下

500 hPa附近形成正值中心(图7b)。副高型受副高前沿风切变、地面辐合线等影响,促进多股气流辐合。对流层低层广义位温水平梯度增大,热力切变平流参数在低层出现异常值,且副高型辐合抬升运动最强烈。7月22日低层辐合抬升运动强盛,热力切变平流参数中心值达到 $11\times10^{-8}\text{K}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 位于700 hPa(图7c)。

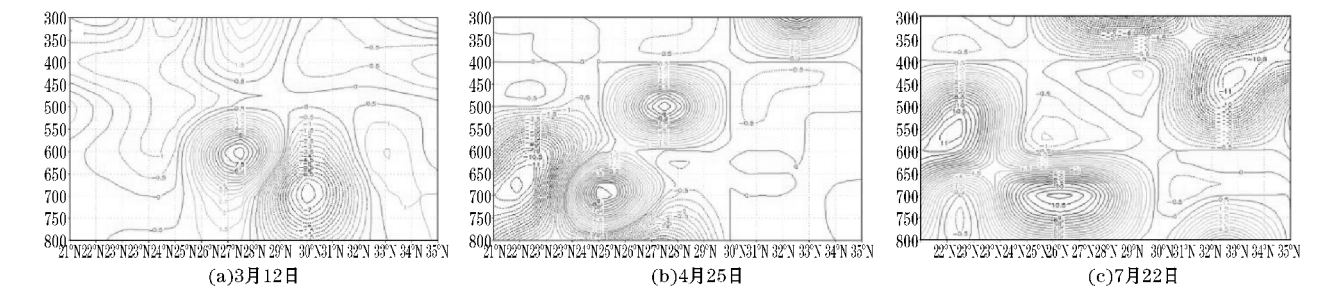


图7 热力切变平流参数

平均化后的热力切变平流参数指示作用减小,因此可选取700 hPa垂直速度、300 hPa与700 hPa垂直风切变等与动力相关物理量判定动力抬升条件特征。3类冰雹日700 hPa的垂直速度都介于 $-0.2\times10^{-2}\sim-1.2\times10^{-2}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,数值集中区域相似。垂直风切变与强对流的结构、组织、演变有极大联系,其作用于引导降水和下沉气流远离低层的入流上升气流,促进风暴一侧的辐合加强、持续^[18]。考虑威宁的海拔高度,选择300 hPa与700 hPa风切变作为中低层垂直风切

变。垂直风切变第75百分位数为 $21.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}>20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (表4),表明只有25%的冰雹出现在较强的风切变环境中与统计结果一致,少数有较强垂直风切变的冰雹日低层辐合上升运动更为强烈。强风切变常出现在南支槽型中,根据垂直风切变大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 判断辐合抬升条件时,对南支槽型的识别度更高。当垂直风切变大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 作为判定阈值时,可识别75%的冰雹日(图8)。

表4 2018年冰雹日垂直风切变分布情况

因子	最大值	最小值	平均值	第25百分位数	第50百分位数	第75百分位数	第80百分位数
$(T-T_d)_{700}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	36.0	-7.0	14.9	7.0	13.0	21.5	26.8

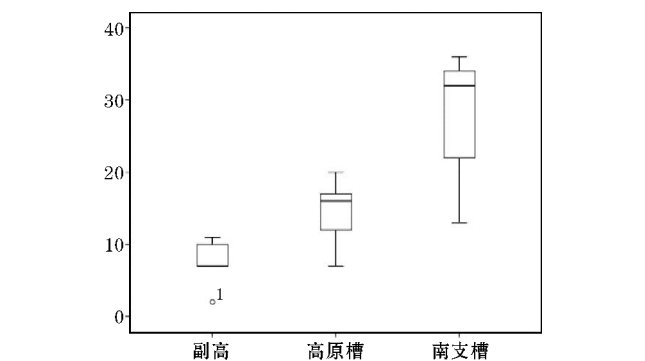


图8 各类型300 hPa与700 hPa垂直风切变箱线图

4 雹暴的回波特征分析

4.1 雷达回波特征

双偏振雷达回波为冰雹天气的监测预警提供了有利的数据支撑。雪山镇位于威宁较高地势处,因此位于雪山镇的雷达有效避免了威宁特殊地形地势对观测

带来的影响。据回波统计可知,不同环境条件下形成的雹暴单体,其回波强度与高度等存在一定差异。反射率因子的值越大,回波高度越高时,产生强冰雹的可能性越大^[19]。回波顶高度反映水汽和上升气流的垂直发展情况,回波顶高度越高,说明有更强的上升气流来促进冰相粒子的形成与发展。

据统计可知25例雹云中最大回波强度在55~65dBZ,最强回波顶高在6 km左右。副高型和高原槽型回波发展强盛,最大反射率整体分布高于南支槽型,存在雹暴单体强中心达到65 dBZ的个例(图9a)。南支槽型发展较弱,最强回波中心达到62 dBZ。以35 dBZ回波顶高作为单体回波顶高的依据时,副高型75%回波顶高达到8 km(图9b)。副高型垂直对流发展强盛,单体发展高度远高于其它两类。高原槽型次之,当出现像炮线一类的对流单体时,回波中心强度达到65 dBZ,35 dBZ回波顶高可达到8 km。南支槽型对流发展较弱,35 dBZ回波顶高多在5 km左右(图9b)。

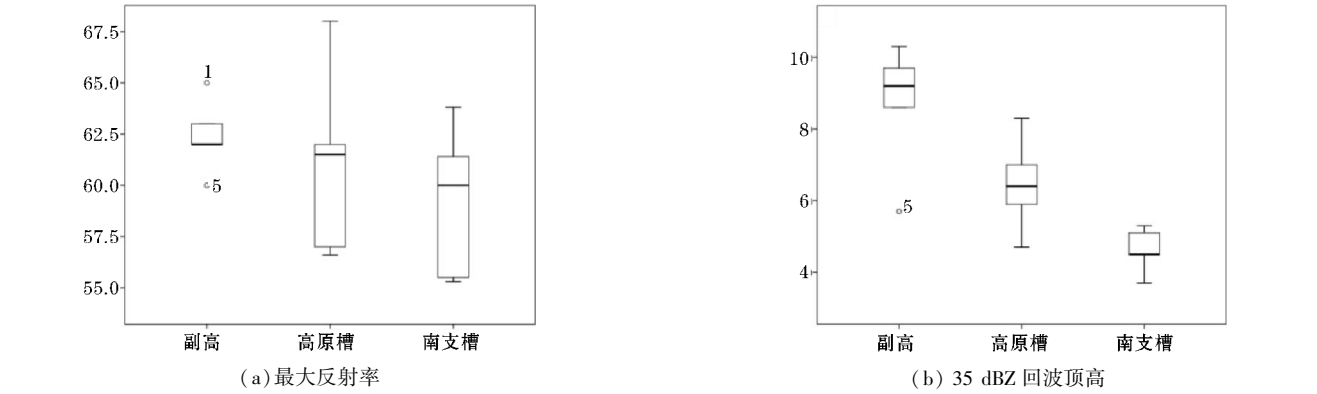


图9 各类冰雹日最大反射率值、35 dBZ 回波顶高箱线图

如图 10 所示,3 个个例降雹前强回波中心都达到 4 km 左右。由于高原槽型、南支槽型 0℃、-20℃ 层高度比副高型低,3 月 12 日、4 月 25 日强回波中心可向上延伸至 -20℃ 以上,强对流将水汽向高层输送有利于大冰雹的生成。3 月 12 日为对流发展强盛的飑线系统,回波中心强度最大。并且 0℃ ~ -20℃ 层较厚,有利于冰雹反复增长且降落时不易融化。因此 3 月 12 日单体发展更加强盛且形成冰雹更大。4 月 25 日冰雹在 -20℃ 以上快速增长,但由于较薄的 0℃ ~ -20℃ 厚度,下落过程中较厚的暖层易造成冰雹融化,导致冰雹粒子大小、回波强度小于 3 月 12 日。7 月 22 日在强上升气流作用下整体发展高度较高,有利于形成较大冰雹。

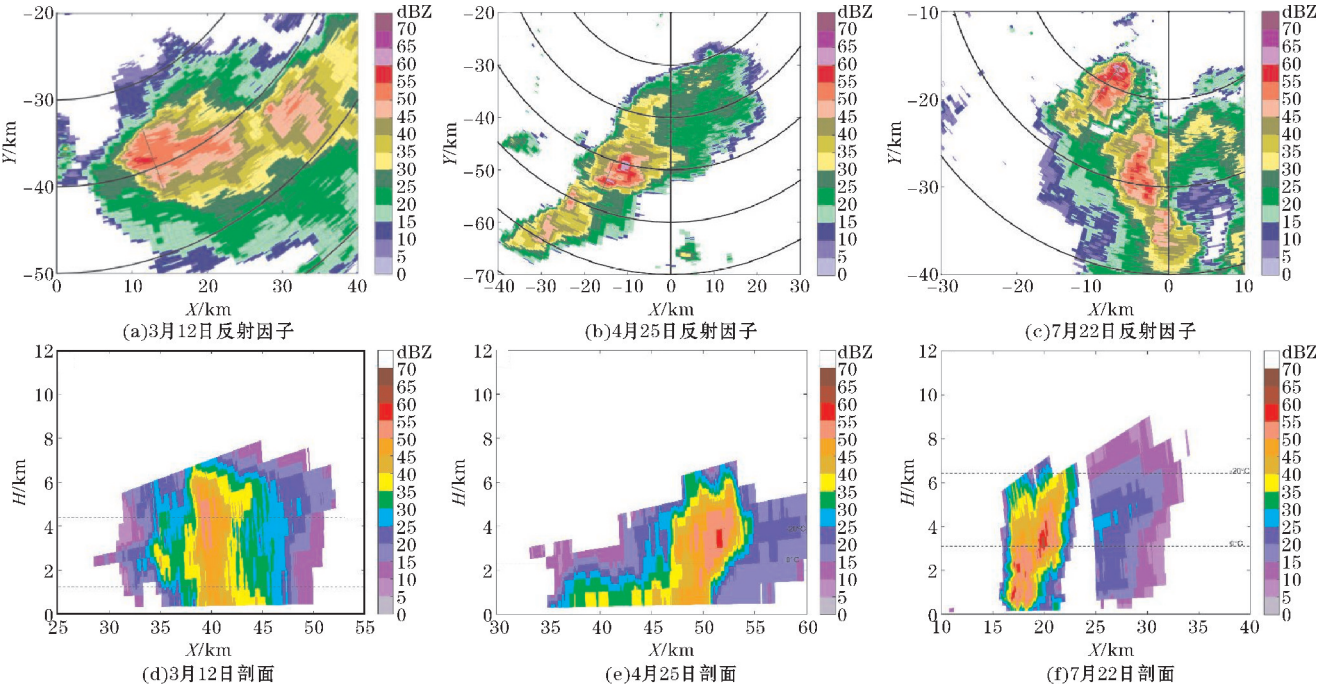


图 10 反射率因子及其剖面

4.2 冰雹回波参数与 0℃ 层高度

冰雹在 0℃ 层以上反复增长发展到上升气流不能支撑时降落地面,降落前在雷达图上观察到发展至 0℃ 层以上的强回波区,可作为上升气流强度的指标^[20]。25 例雹云中,只有 11 块雹云具有冰雹云的典型回波特征;说明只根据典型回波特征判别冰雹,虽然准确率却会出现漏报。典型回波特征结合回波顶高与 0℃ 高度关系阈值共同判别雹暴单体的方法,将会在提高准确率的同时减少漏报率。Mather 等^[21]、Fe-

derer 等^[22]把强回波顶高与 0℃ 层高度之差作为地面降雹的判据,樊鹏等^[23]把 $H_{45} \geq H_0 + 2.3$ km 作为山西冰雹的判据之一,可针对贵州威宁冰雹,研究分析 40 ~ 50 dBZ 回波高度与 0℃ 层高度对冰雹的指示作用。研究分析 0℃ 层高度与强回波高度之间的关系,找出适合贵州威宁冰雹发生的指标阈值。考虑到雹云的发展和 6 min 的时间间隔可能会错过雹云强烈发展阶段,选取降雹前 30 min 至降雹时段的雷达数据针对强回波强度及其回波高度进行统计分析。

雷达的回波高度和中心强度会根据 0℃ 层高度的

季节变化产生一定变化。当0℃层高度超过2500 m时,强回波顶高度与0℃层高度之差也会产生变化(图11)。因此可针对0℃层高度是否超过2500 m,根据0℃层高度与强回波顶高度的差值来判别冰雹。根据40~50 dBZ回波顶高与0℃层高度相关性分析可知 H_{50} 与 H_0 之间的关系不可靠,未通过95%的显著性检验。 H_{40} 与 H_0 的相关性达到75%,因此根据 H_{40} 与 H_0 的差值作为冰雹判据的可行性更高(表5)。如表6,当 $H_0>2.5$ km时, $H_{40}-H_0>2.7901$ km;当 $H_0<2.5$ km时, $H_{40}-H_0>1.4913$ km可作为指标为冰雹预报预警提供参考。

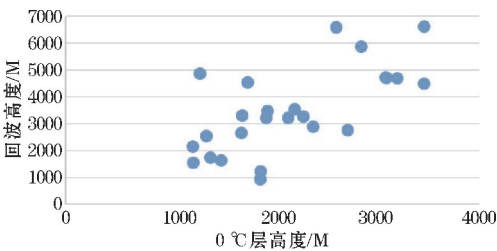


图11 40 dBZ强回波顶的回波高度与0℃层高度差

表5 回波顶高与0℃层高度相关性

回波强度/dBZ	与0℃层高度相关系数	显著性
40	0.752	0.000
45	0.535	0.000
50	0.345	0.099

表6 强回波顶的回波高度与0℃层高度差阈值 m

0℃层高度	$H_{40}-H_0$	$H_{45}-H_0$	$H_{50}-H_0$
高于2500	2.7901	2.1295	1.5284
低于2500	1.4913	2.3080	0.6171

5 结论与讨论

在对冰雹日的环流形势特征进行分析的基础上,根据500hPa主要影响系统将25例冰雹日分为高原槽型、南支槽型、副高型。通过分析3类冰雹日的环境条件特征和对流结构特征,得到如下结论:

(1)高原槽型主要在云贵川小槽影响下触发维持对流,南支槽型在南支低槽背景下触发对流,副高型在低层热低压的热力强迫作用下触发对流,结合高低空急流、切变线、低涡等形成不同环流形势配置。根据各类型环流形势特征,可对威宁天气个例进行环境类型初步分类和强对流潜势判定。

(2)3种类型的不稳定条件、抬升条件由于冷空气入侵层次和强度、主要维持影响机制不同而产生差异。高原槽型不稳定形势主要存在于500 hPa以上中高层,南支槽型不稳定区域主要在500 hPa以下的中低层,副高型整层为暖气团控制积累了大量能量,冷空气入侵促进整层对流不稳定形势形成。高原槽型、南支槽型强烈动力抬升区域主要在中层;副高型主要在低层热

力强迫作用下,对流运动强烈发展,热力平流参数在低层存在大值中心且强度大于其他两类。高原槽型、南支槽型在低空急流、强盛西南气流影响下,根据水汽垂直螺旋度分析有显著垂直输送运动。副高型主要靠切变线附近多股气流扰动促进水汽水平积聚,无明显水汽垂直输送形势。

(3)3类冰雹日环境条件根据阈值判定整体趋势时,其分布情况相似。利用 $SI<-0.02$ ℃、 $BLI<0$ ℃、 $(T-T_d)_{700}<5$ ℃可捕获至少50%冰雹日,垂直速度位于 $-0.2\times10^{-2}\sim-1.2\times10^{-2}$ Pa·s⁻¹、垂直风切变大于12 m·s⁻¹可捕获75%冰雹日。对具有强对流潜势的个例,可利用这些针对威宁雹暴提炼的指标进行雹暴潜势判断。根据水汽垂直螺旋度、热力切变平流参数等具体分析各类型个例热动力和水汽条件分布、对流结构特征。

(4)副高型回波中心强度最强,对流整体发展高度较高,高原槽型次之,低0℃层、厚增长层使得回波中心强度、对流发展高度大于南支槽型。利用冰雹典型回波特征识别雹暴的识别率不高,结合回波顶高与0℃阈值进行诊断有望提高预报准确率、减少漏报。针对存在雹暴潜势的个例,无论有无典型冰雹回波特征,根据40 dBZ回波顶高与0℃层高度差值都可判定是否产生雹暴。

致谢:感谢成都市科技治霾新技术新产品应用示范项目(2018-ZM01-00038-SN)对本文的支助

参考文献:

[1] 冯晋勤,俞小鼎,蔡菁,等. 福建春季西南急流暖湿强迫背景下的强对流天气流型配置及环境条件分析[J]. 气象,2017,43(11):1354-1363.

[2] 侯淑梅,王秀明,尉英华,等. 山东省初秋一次大范围强对流过程落区和抬升触发机制分析[J]. 气象,2018,12(1):80-92.

[3] 张桂莲,常欣,黄晓璐,等. 东北冷涡背景下超级单体风暴环境条件与雷达回波特征[J]. 高原气象,2018,37(5):1364-1374.

[4] 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.

[5] 苏永玲,马秀梅,马元仓,等. 高空冷涡和副高背景下青海冰雹特征对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2018,12(4):22-29.

[6] 徐芬,郑媛媛,肖卉,等. 江苏沿江地区一次强冰雹天气的中尺度特征分析[J]. 气象,2016,42(5):567-577.

[7] 蒋瑛,朱克云,张杰. 贵州地区冰雹云微物理过程及发展机制数值模拟研究[J]. 气象,2016,42(8):920-933.

[8] 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.
- [9] 吴剑坤, 俞小鼎. 强冰雹天气的多普勒天气雷达探测与预警技术综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(3):197-206.
- [10] 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.
- [11] 方翀, 王西贵, 盛杰, 等. 华北地区雷暴大风的时空分布及物理量统计特征分析[J]. 高原气象, 2017, 36(5):1368-1385.
- [12] 赵庆云, 傅朝, 刘新伟, 等. 西北东部暖区大暴雨中尺度系统演变特征[J]. 高原气象, 2017, 36(3):697-704.
- [13] 赵桂香, 王晓丽, 王一颀. 黄河中游地区初春与盛夏MCC结构特征比较分析[J]. 高原气象, 2017, 36(6):1638-1654.
- [14] 刘小艳, 索勇, 王瑾. 基于CPAS系统的贵州安顺市冰雹云识别指标研究[J]. 干旱气象, 2017, 35(4):688-693.
- [15] Jungbluth D K A. Evaluation of a Technique for Radar Identification of Large Hail across the Upper Midwest and Central Plains of the United States[J]. Journal of Psychosomatic Research, 2007, 22(2):236-243.
- [16] 李琴, 杨帅, 崔晓鹏, 等. 四川暴雨过程动力因子指示意义与预报意义研究[J]. 大气科学, 2016, 40(2):341-356.
- [17] 齐彦斌, 冉令坤, 洪延超. 强降水过程中热力切变平流参数的诊断分析[J]. 大气科学, 2010, 34(6):1201-1213.
- [18] Weisman M L, Klemp J B. The Dependence of Numerically Simulated Convective Storms on Vertical Wind Shear and Buoyancy [J]. Monthly Weather Review, 1982, 110(6):504-520.
- [19] Witt A, ElitsMD, Stumpf GJ, et al. Anenhanced-haildetectionalgorithmfortheWSR-88D [J]. Wea-Forecasting, 1998, 13:286-303.
- [20] Lemon L R. New severe thunderstorm radar identification techniques and warning criteria: a preliminary report [J]. NOAA Tech. Memo. NWS NSSFC-3, KansasCity, Mo. 1980, 67.
- [21] Mather G K, Treddenick D, Parsons R. An Observed Relationship between the Height of the 45 dBZ Contours in Storm Profiles and Surface Hail Reports [J]. Journal of Applied Meteorology, 1976, 15(12):1336-1340.
- [22] WaldvogelA, Schmid W, Federer B. The Kinetic Energy of Hailfalls. Part I: Hailstone Spectra[J]. Journal of Applied Meteorology, 1978, 17(4):515-520.
- [23] 樊鹏. 用风暴剖面45dBZ高度选择防雹作业时机[J]. 山西气象, 1994(4):29-31.

Characteristics Analysis of Typical Hailstorm Weather in Weining of Guizhou Province

XIANG Shujun¹, ZHOU Yunjun^{1,2}

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of hail forecast in Weining area of Guizhou, where hail occurs is frequently frequent and terrain is complex, this paper uses sounding data, NCEP(0.5°×0.5°) reanalysis data every six hours and Doppler dual polarization radar data to classify and compare the evolution characteristics of environmental conditions of 25 hail weather in 2018. The results show that (1) Hail weather in Weining, Guizhou Province in 2018 is divided into three types by the 500 hPa main influence system, and the vertical transportation of water vapor and other conditions of plateau trough under the influence of Yunguichuan trough mainly exist in the middle layer. The plateau trough is influenced by Yunguichuan trough so some conditions such as the vertical transportation of water vapor exist in the middle layer. The south branch trough mainly triggers convection under the dynamic force of cold advection in the middle layer and conditions such as vertical transportation of water vapor mainly exist in the middle and lower layers. Subtropical high mainly forms potential instability under the influence of thermal low pressure. The whole layer is in strong unstable and uplifting conditions. Water vapor mainly accumulates horizontally. (2) The three kinds of process environmental conditions are determined by $SI < -0.02$ °C, $BLI < 0$ °C, $(T - T_d)_{700} < 5$ °C, vertical velocity at $-0.2 \times 10^{-2} - -1.2 \times 10^{-2}$ Pa · s⁻¹ and vertical wind shear greater than 12 m/s, the overall trend has similar distribution characteristics and can capture at least 50% hail days. (3) The method of identifying hailstorm monomer based on hail typical characteristics and $H_{40} - H_0$ threshold can improve the correct rate and reduce the false negative rate. These physical quantity indexes provide objective statistical basis for hail weather potential forecast in Weining, Guizhou and can provide certain reference basis for forecast and early warning.

Keywords: mesometeorology; strong convection; hailstorm; circulation background; environmental parameters; radar echo