文章编号:2096 - 5389(2018)06 - 0054 - 06

2017 年 7 月昭通冰雹天气综合分析

秦 瑞,曾清川

(云南省昭通市气象局,云南 昭通 657000)

摘 要:该文利用 NCEP 再分析资料、宜宾和威宁探空资料、昭通多普勒天气雷达观测资料对 2017 年 7 月昭通出现的冰雹灾害天气进行统计分析,表明出现的冰雹天气具有以下几个主要特征:①冰雹的发生与西太平洋副热带高压、青藏高压有紧密的联系;②在干入侵、上干下湿、湿层深厚这 3 种中低空配置下昭通都可能会出现冰雹天气;③订正到 14 时后的对流有效位能比 08 时的更具指示意义;④冰雹云的最大回波强度在 55 dBz 以上,回波顶高达到 10 km 以上,风暴顶高超过回波顶高的 70%,最大单体垂直液态含水量值在 14 kg/m^2 以上。

关键词:冰雹;对流有效位能;雷达回波

中图分类号:P458.1$^+$21.2 **文献标识码:**B

Comprehensive analysis of hailstorm weather in Zhaotong in july 2017

QIN Rui,ZENG Qingchuan

(Zhaotong Meteorological Bureau, Zhaotong 657000,China)

Abstract:Based on the NCEP reanalysis data and the T - LogP data of Yibin and Weining station and the Doppler radar data of Zhaotong station, the hailstorm weather in Zhaotong in July2017 was analyzed. The results show that the hail has the following major characteristics:①The hail was related to the West Pacific Subtropical high and the Tibetan high;②In the case of dry invasion, dry on the wet and deep wet layer configurations hail may happen in Zhaotong; ③The convective available potential energy corrected to 2pm was more indicative than the convective available potential energy at 8am;④The maximum radar reflectivity of hail cloud was more than 55 dBz, the echo top reached more than 10 km, the storm top exceeds 70% of the echo top and the maximum Vertical integrated liquid was above 14 kg/m^2.

Key words:hail; convective available potential energy; radar echo

1 引言

冰雹是一种由强对流系统所引发的剧烈天气现象,局地性强、生命史短、突发性强,常伴随狂风、强降水、急剧降温等阵发性灾害天气,给农业、林业及人民生命财产安全等造成严重的损失。昭通地处云贵川三省结合处,金沙江下游沿岸,坐落在四川盆地向云贵高原抬升的过渡地带,地势南高北低,最低海拔 267 m,最高海拔 4 040 m,境内地貌复杂多样,高山交错,特殊的地理特征导致局部地区容易形成强烈的上升气流,为冰雹天气的形成发展提供有利的条件。经气象灾害管理系统统计,2017 年昭通共出现 15 次冰雹灾害,受灾人口 135 825 人,造成经济损失 8 502.59 万元,其中 14 次出现在 7 月,为了更多的了解昭通冰雹灾害的天气特征,加强昭通冰雹天气的短时和临近预报能力,本文利用 NCEP 再分析资料、宜宾和威宁探空资料、昭通多普勒天气雷达观测资料对 7 月 14 次冰雹天气的天气形势背景、环境场、雷达回波参数特征等进行详细探讨。

收稿日期:2018 - 02 - 07

第一作者简介:秦瑞(1991—),男,助工,主要从事短期天气预报服务和水电气象服务工作,E - mail:qinruimax@163.com。

2　冰雹灾害分布

2017 年 7 月昭通冰雹灾害发生在南部昭阳区、鲁甸县、巧家县和东部镇雄县、彝良县、威信县,六个县区在 7 月都发生了 2 ~ 3 次冰雹灾害,冰雹灾害发生时间段为 15—21 时,其中主要集中在 15—18 时(10 次)。

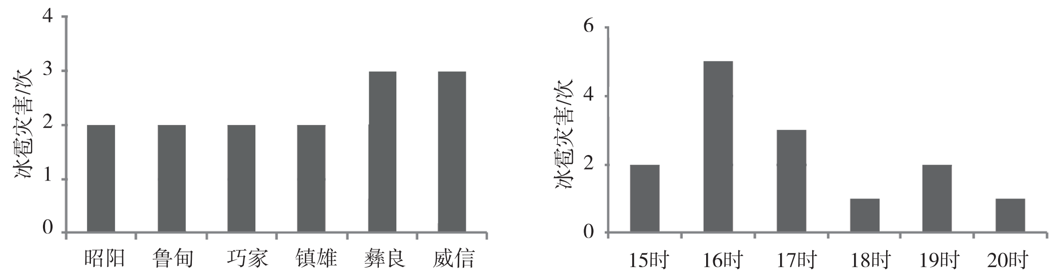

图 1　2017 年 7 月昭通冰雹灾害时空分布图

Fig. 1　Spatial and temporal distribution of hailstorm disaster in Zhaotong in July 2017

3　天气形势背景

2017 年 7 月昭通冰雹除 30 日发生在 20 时以后,其余的都发生在 14—20 时之间,为了更好的了解冰雹发生的形势背景,运用 NCEP 再分析资料分析 30 日 20 时和其余冰雹日 14 时的高低空环流平均形势场(图 2),可以看出 500 hPa 平均高度场上 588 线西伸到川渝交界处附近,青藏高压控制整个青藏高原,昭通处在青藏高压和西太平洋副热带高压形成的辐合区,青藏高压和西太平洋副热带高压两个大尺度天气系统在热带大气和中高纬度大气的热量和能量交换中起桥梁作用,它们之间形成的辐合区是热量和动量交换的通道,是大气活动最为激烈的地区,两高辐合为昭通冰雹的发生提供了热量和动量条件,700 hPa 平均流场上热带低压外围的东南气流将南海的水汽带至昭通上空,为昭通冰雹的发生提供了水汽条件。分析 2017 年 7 月昭通冰雹日单日的天气形势背景发现昭通冰雹的发生与西太平洋副热带高压和青藏高压有紧密的联系,冰雹天气的影响系统主要有 3 种类型(表 1):一是 500 hPa 副高和青藏高压形成的两高辐合配合700 hPa的切变线,二是 500 hPa 和 700 hPa 都处在副高控制的边缘,三是 500 hPa 副高或者青藏高压附近的切变线配合 700 hPa 的切变线或低层辐合。

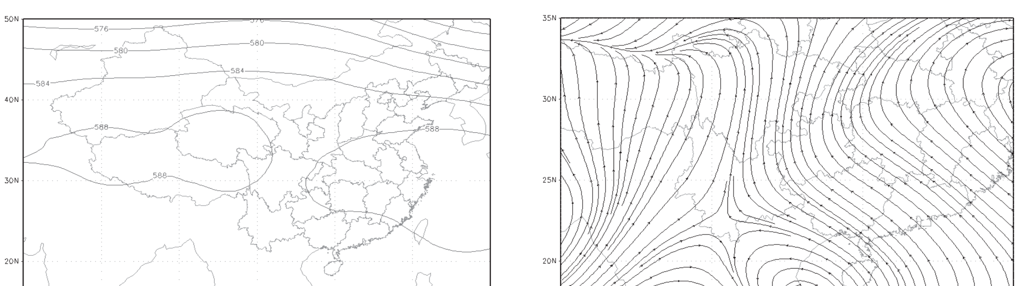

图 2　2017 年 7 月昭通冰雹日 500 hPa 平均高度场(a)(单位: hPa)和 700 hPa 平均流场(b)(单位:m/s)

Fig. 2　Average height field of 500 hPa in July 2017 Zhaotong hailstorm (a) (unit:hPa) and 700 hPa (b) (unit: m/s)

4　冰雹发生前的环境场特征

通过探空资料和 NCEP 再分析资料分析冰雹发生前的环境场,因为昭通未设有探空站,所以采用邻近的宜宾和威宁的探空资料来分析昭通上空的大气层结状况,2017 年 7 月昭通冰雹除 30 日发生在 20 时以后,其余的都发生在 14—20 时之间,因此探空资料主要使用 30 日 20 时和其余冰雹日 08 时的资料来分析昭通冰雹发生前的环境场特征。

4.1　0 ℃、-20 ℃层高度特征

0 ℃和 -20 ℃层分别是云中冷暖云分界线高度和大水滴的自然冰化区下界,冰雹是一种直径 >0.5 cm 的冰相降水粒子,多数为椭圆形、球形和锥形,在强对流云体中上部的上升气流中反复增长形成冰雹,最后在降落过程中穿过0 ℃层高度后,部分融化。冰雹形成除0 ℃冻结层高度适当外,还要有一定的负温区供雹胚运动增长,水滴一般在 -20 ℃凝结成冰,因此, -20 ℃层高度也是判断是否有利于冰雹形成的重要参数。各地的0 ℃、-20 ℃层有所不同,段鹤等[1]研究发现滇南降雹天气过程对应的0 ℃、-20 ℃高度为2.8 ~5.5 km、7.1 ~8.9 km,仇娟娟等[2]分析发现苏浙沪冰雹天气 -20 ℃、0 ℃层高度在5.6 ~7.6 km、2.8 ~4.1 km之间。

表1　冰雹发生的时间地点和中低空影响系统

Tab.1　Time and place of hail occurrence and low and medium altitude impact system

日期	县区	降雹时间	500 hPa 影响系统	700 hPa 影响系统
7 月 11 日	威信	16 时 36 分	两高辐合	切变线
7 月 18 日	鲁甸	16 时 30 分	两高辐合	西南气流
7 月 19 日	镇雄	17 时 20 分	两高辐合	切变线
7 月 23 日	彝良	18 时 30 分	切变线	低层辐合
	鲁甸	15 时 50 分		
7 月 24 日	镇雄	17 时 30 分	切变线	低层辐合
	威信	19 时 16 分		
7 月 25 日	昭阳	16 时 00 分	副高	副高
7 月 27 日	彝良	16 时 00 分	副高	副高
	威信	17 时 50 分		
	巧家	15 时 10 分		
7 月 28 日	彝良	16 时 20 分	副高	副高
	巧家	19 时 30 分		
7 月 30 日	昭阳	21 时 00 分	切变线	切变线

统计分析冰雹日宜宾站和威宁站08 时和20 时的0 ℃和 -20 ℃层的高度资料分析发现(图3)宜宾站和威宁站的0 ℃层高度日变化平均值分别为0.2 km、0.15 km, -20 ℃层高度的日变化平均值分别0.11 km、0.15 km;宜宾站和威宁站的0 ℃层高度分别为5.1 ~5.7 km、5.0 ~5.6 km,平均高度分别为5.4 km 和5.3 km;宜宾站和威宁站的 -20 ℃层高度均为8.3 ~8.8 km,平均高度都是8.6 km。

通过综合分析宜宾和威宁两站的0 ℃和 -20 ℃层高度特征可以推断出昭通冰雹日的0 ℃和 -20 ℃层高度主要有以下特征:0 ℃和 -20 ℃层高度的日变化平均值≤0.2 km;0 ℃层高度为5.0 ~5.7 km,平均高度为5.3 km; -20 ℃层高度为8.3 ~8.8 km,平均高度8.6 km。

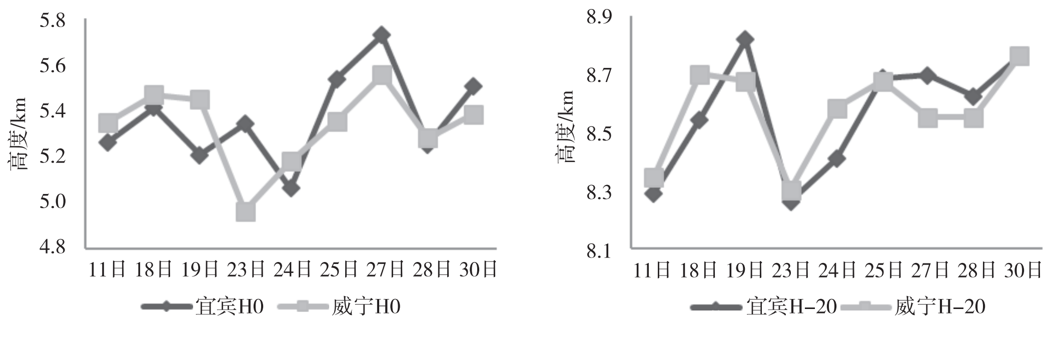

图3　2017 年7 月冰雹日0 ℃层、-20 ℃层高度

Fig.3　July 2017 hail day 0 ℃ and 20 ℃ layer height

4.2　层结条件

温度垂直递减率和假相当位温的垂直递减率可反映大气的稳定状态,常用850 hPa 与500 hPa 高度上的温度差 $T_{850}-T_{500}$ 和假相当位温差 $\theta se_{850}-\theta se_{500}$ 来表征大气的层结稳定度,$T_{850}-T_{500}$ 愈大愈不稳定,$\theta se_{850}-\theta se_{500}>0$ 时对应不稳定,且 $\theta se_{850}-\theta se_{500}$ 值愈大愈不稳定。统计分析宜宾站30 日20 时和其余冰雹日08 时的 $T_{850}-T_{500}$ 和 $\theta se_{850}-\theta se_{500}$(表2)发现:昭通冰雹日宜宾站850 hPa 与500 hPa 高度上的温度差 $T_{850}-T_{500}$ 为22 ~29 ℃,平均值为25.4 ℃,除19 日外其余冰雹日 $T_{850}-T_{500}$ 都在24 ℃以上;850 hPa 与500 hPa 高度上的假相当位温差 $\theta se_{850}-\theta se_{500}$ 虽为1.3 ~31.8 ℃,但9 个冰雹日中有7 日的 $\theta se_{850}-\theta se_{500}$ 都14 ℃以上,说明冰雹发生前大气层结极不稳定。

4.3　水汽条件

温度露点差可以表征水汽条件,温度露点差越小,表征水汽条件越好,当温度露点差≤5 ℃时,视为湿区。统计分析宜宾站30 日20 时和其余冰雹日08 时的850 hPa 和500 hPa 的温度露点差 T_{850} -

Td_{850}和$T_{500}-Td_{500}$发现昭通冰雹日的干湿层分布有3种情况，并非都是上干下湿的配置（图4）：一是850 hPa和500 hPa温度露点差都较大（>5 ℃），中低层都为干层的干入侵型，如11日和30日，其中11日的850 hPa和500 hPa温度露点差都达到了20 ℃以上；二是850 hPa温度露点差较小（≤5 ℃）、500 hPa温度露点差较大（>5 ℃），即低层为湿区中层为干区的上干下湿型，如18日、23日、27日、28日；三是850 hPa和500 hPa温度露点差都较小（≤5 ℃）中低层都为湿区的湿层深厚型，如19日、24日、25日。

表2　宜宾站$T_{850}-T_{500}$和$\theta se_{850}-\theta se_{500}$（单位：℃）

Tab. **2**　Yibin station $T_{850}-T_{500}$ and theta $se_{850}-$ theta se_{500} (unit: ℃)

	$T_{850}-T_{500}$/℃	$\theta se_{850}-\theta se_{500}$/℃
11日	29	1.3
18日	24	21.3
19日	22	6.7
23日	25	15.0
24日	25	14.5
25日	24	16.4
27日	26	30.1
28日	28	31.8
30日	26	19.0

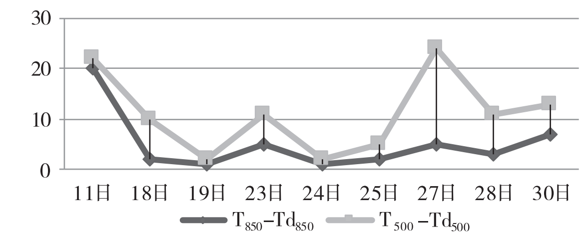

图4　宜宾站$T_{850}-Td_{850}$和$T_{500}-Td_{500}$（单位：℃）

Fig. 4　Yibin stand $T_{850}-Td_{850}$ and $T_{500}-Td_{500}$ (unit: ℃)

4.4　能量条件

统计分析宜宾站和威宁站30日20时和其余冰雹日08时气团指标（K）、沙氏指数（SI）、对流有效位能（CAPE）等指标参数（表3），寻找其与昭通冰雹之间的关系。

气团指标K指数是一个经验指标，能同时反映大气层结稳定度和中低层的水汽条件，K值越大，潜能越大，大气越不稳定。统计分析发现冰雹日宜宾站的K值为16~46 ℃，但除11日中低层水汽条件非常差K值仅为16 ℃外，其余冰雹日的K值都在34 ℃以上。

沙氏指数（SI）本质是指850 hPa处的"保守"气块被抬升到500 hPa时，与环境温度的差异，可以用来判断对流层中层是否存在热力不稳定层结，SI指数受日变化影响较小，如SI>0，则表示稳定，反之，SI<0，则表示不稳定。据国外研究，当0 ℃<SI<3 ℃时有发生阵雨的可能。统计分析宜宾站和威宁站的SI指数发现，除11日外，宜宾站的SI指数均<−1 ℃；威宁站的SI指数<3 ℃。

对流有效位能（CAPE）是气块在给定环境中绝热上升时的正浮力所产生的能量的垂直积分，是一种浮力能，可转化为对流上升运动的能量，一般来说，对流有效位能越大，雷暴出现后其内部的上升气流也越强，出现冰雹天气的可能性也越大。运用14时的气压、温度、露点资料通过修正抬升点的方法，将除30日以外的冰雹日的宜宾站和威宁站CAPE值订正到午后14时（图5a、5b），可以看出订正后两站的CAPE值都非常大，宜宾站最大的CAPE值高达4 533.6 J·kg^{-1}，最小的CAPE值也接近1 000 J·kg^{-1}，绝大多数都在2 500 J·kg^{-1}以上，威宁站的CAPE值绝大多数也在1 300 J·kg^{-1}以上。同时通过订正还发现，14时的CAPE值较08时普遍都增大了1 000 J·kg^{-1}以上，说明上午的热力不稳定性出现明显增大，有利于对流的发展；30日宜宾站和威宁站的CAPE值也从08时808.9 J·kg^{-1}、308.9 J·kg^{-1}增长到了20时1 419 J·kg^{-1}、1 052.3 J·kg^{-1}，增大幅度也在600 J·kg^{-1}以上。

综合分析发现：当宜宾站K>34 ℃，宜宾站SI<−1 ℃，威宁站SI<3 ℃时，昭通便有出现冰雹的可能，分析还发现宜宾和威宁站08时的CAPE值对昭通冰雹天气指示作用较弱，但将其订正到14时后的CAPE值对昭通冰雹天气指示作用明显，冰雹日订正后的CAPE值宜宾站在2 500 J·kg^{-1}以上，威宁站在1 300 J·kg^{-1}以上，订正后14时的CAPE值较08时增长达到1 000 J·kg^{-1}以上。

表3　宜宾和威宁探空站环境参数

Tab. **3**　Environmental parameters of Yibin And Weining sonde stations

	SI/℃		K/℃	订正后CAPE/J·kg^{-1}	
	宜宾	威宁	宜宾	宜宾	威宁
7月11日	5.7	8.9	16	2 796.5	50.7
7月18日	−3.4	1.2	41	3 818.9	2 235.8
7月19日	−1.3	0.4	36	1 470	2 347.5
7月23日	−1.1	1.6	39	2 679.4	1 531.6
7月24日	−4.1	2.3	42	923.3	799
7月25日	−2.9	0.8	35	2 625.1	1 609.3
7月27日	−2.9	−1.2	34	4 533.6	2 675.7
7月28日	−4.6	2.0	46	2 795.7	1 390.1
7月30日	−1.1	−1.6	38	1 419(20时)	1 052.3(20时)

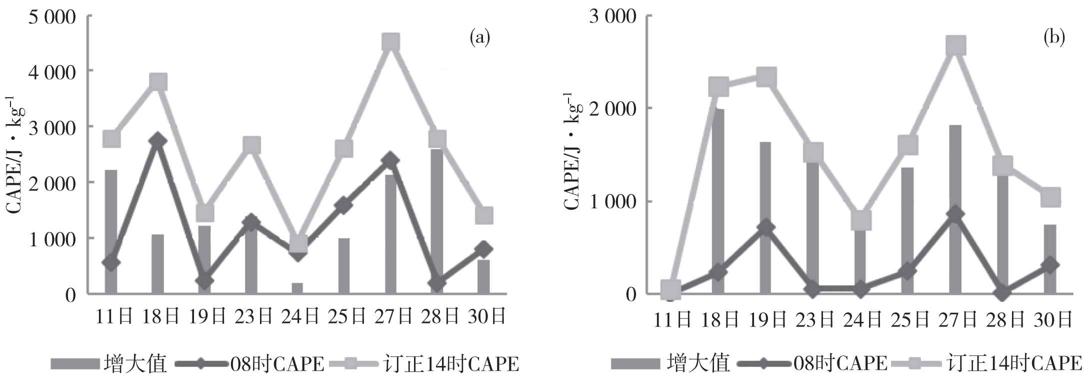

图 5　宜宾站(a)、威宁站(b)CAPE 变化图

Fig. 5　CAPE variability of Yibin station(a) and Weining station(b)

4.5　动力条件

垂直速度表征大气的垂直运动,大气层结不稳定能量须在一定的上升运动条件下才能释放出来,从而形成对流天气。大气中的能量转换主要也是通过垂直运动才得以实现,因此,垂直速度也是天气分析和预报中最常用的物理量之一,在 P 坐标系中当垂直速度 $\omega < 0$ 时为上升运动,ω 值愈小上升运动愈强烈,反之为下沉运动。运用 NCEP 再分析资料分析 30 日 20 时和其余冰雹日 14 时昭通境内的 P 坐标垂直速度(表 4)发现昭通冰雹日的垂直速度主要表现出以下特征:昭通冰雹日 850 hPa、700 hPa、500 hPa 的垂直速度都为负值,表明昭通境内上升运动强烈,上升运动从低层一直延伸到了 500 hPa 以上,850 hPa 的垂直速度 $< -15 \times 10^{-2}$ Pa/s,700 hPa的垂直速度 $< -5 \times 10^{-2}$ Pa/s,500 hPa 的垂直速度 $< -5 \times 10^{-2}$ Pa/s。

表 4　冰雹日昭通境内 850 hPa、700 hPa、500 hPa 垂直速度(单位:10e^{-2}・Pa・s^{-1})

Tab. 4　Vertical speed of 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa in Zhaotong on hail day (unit:10e^{-2}・Pa・s^{-1})

	850 hPa	700 hPa	500 hPa
11 日	-15	-5	0
18 日	-15	-5	-5
19 日	-10	0	-15
23 日	-15	-5	-15
24 日	-15	-10	-5
25 日	-25	-15	-10
27 日	-15	-5	-5
28 日	-15	-15	-20
30 日	-15	-15	-10

5　冰雹云雷达回波参数特征

多普勒天气雷达是监测和预警冰雹等强对流天气的重要工具之一,运用昭通多普勒天气雷达资料分析冰雹出现时冰雹云的回波参数特征。昭通多普勒天气雷达位于昭通市昭阳区境内,为 C 波段天气雷达。因为受到探测距离和昭通地形的影响,雷达在威信县和镇雄县境内出现了探测盲区,不能有效探测两县区域内的天气情况,所以只能分析昭阳区、鲁甸县、巧家县、彝良县 4 个县区冰雹出现时冰雹云的雷达回波参数特征。昭阳区因境内降雹点距离雷达的直线距离只有 20 ~ 30 km,彝良县因凉风台山脉的遮挡,只有高仰角才有回波显示,所以在分析昭阳和彝良的雷达回波强度特征时均分析的是 4.3°仰角,其余分析的为 2.4°仰角。

5.1　冰雹云的雷达回波强度特征

冰雹云是强风暴的产物,根据微波散射理论,冰雹的尺度比较大,其回波强度特别强,根据多普勒雷达多年的实地观测事实,冰雹云最大回波强度,也就是降雹过程中在冰雹云体所观测到的最大基本反射率值达到了 55 dBz 以上(李玉林等,2001),对流发展旺盛的冰雹云回波强度可达 65 ~ 70 dBz。统计分析 7 月冰雹日的冰雹云最大回波强度(表 5),可以发现冰雹云的最大回波强度都在 55 dBz以上,其中最小值为 55.2 dBz,最大值达到 67.9 dBz,且 9 次过程中有 6 次的最大回波强度都在 60 dBz 以上。

5.2　冰雹云回波高度特征

冰雹云的回波顶高度反映了风暴发展的强烈程度,分析发现 7 月冰雹日冰雹云回波顶高都在 10 km以上。SCIT 算法中规定风暴单体的 30 dBz 回波的最大高度和最小高度分别为风暴顶高和风暴底高,风雹顶高比回波顶高度低,分布与回波高度分布基本一致,分析 7 月冰雹日的冰雹云风暴顶高(30 dBz 回波顶高)发现风暴顶高均超过回波顶高的 70%(表 5)。

5.3　冰雹云 VIL 特征

垂直液态含水量 VIL 在计算中被定义为单位面积上空气柱液态水混合比的垂直积分(单位 kg/m^2),VIL 的大小反映了风暴发展的强弱,最大单体 VIL 值为该次降雹过程中雷达探测到的单体 VIL 值的极大值,分析发现 7 月冰雹日冰雹云的最大单体 VIL 值都在 14 kg/m^2 以上,最大单体 VIL 值的最大值达到了 27.3 kg/m^2(表 5)。

表 5　冰雹云雷达回波参数

Tab. **5**　Radar echo parameters of hail cloud

		最大回波强度/dBz	回波顶高/km	风雹顶高/km	垂直液态含水量/(kg/m^2)
7 月 18 日	鲁甸	61.7	15	11	15.7
7 月 23 日	鲁甸	62.9	10	7	16.8
	彝良	60.5	12	9	14
7 月 25 日	昭阳	56.7	13	10	18.5
7 月 27 日	彝良	64.9	15	11	17.6
	巧家	55.2	15	14	22.4
7 月 28 日	彝良	67.9	12	10	14.3
	巧家	61.1	14	11	27.3
7 月 30 日	昭阳	58.2	11	8	22.1

6　结论

通过对 2017 年 7 月昭通的 14 次冰雹天气发生的天气形势背景、环境场、雷达回波参数特征等进行综合分析,发现昭通发生的冰雹天气具有以下几个主要特征:

①冰雹的发生与西太平洋副热带高压、青藏高压有紧密的联系,西太平洋副热带高压、青藏高压之间的辐合配合 700 hPa 切变线是产生冰雹天气的主要影响系统。

②0 ℃和 −20 ℃层的高度为 5.0 ~ 5.7 km、8.3 ~ 8.8 km。

③冰雹发生前层结极不稳定。

④干湿层分布并非都是上干下湿的配置,在干入侵、上干下湿、湿层深厚这 3 种中低层配置下昭通都有可能出现冰雹天气。

⑤宜宾和威宁站 08 时的 CAPE 值对昭通冰雹天气指示作用较弱,但将其订正到 14 时后 CAPE 值对昭通冰雹天气指示作用明显。

⑥冰雹发生前上升运动强烈,上升运动从低层一直延伸到了 500 hPa 以上。

⑦昭通冰雹天气雷达回波最大回波强度在 55 dBz以上,回波顶高达到 10 km 以上,风暴顶高超过回波顶高的 70%,最大单体 VIL 值在 14 kg/m^2 以上。

参考文献

[1] 段鹤,严华生,马学文,等.滇南冰雹的预报预警方法研究[J].气象,2014,40(2):73－79.
[2] 仇娟娟,何立富.苏沪浙地区短时强降水与冰雹天气分布及物理量特征对比分析[J].气象,2013,39(5):577－584.
[3] 濮文耀,李红斌,宋煜,等.0 ℃层高度的变化对冰雹融化影响的分析和应用[J].气象,2015,41(8):980－985.
[4] 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.
[5] 覃靖,潘海,刘蕾.柳州“4·09”致灾冰雹的超级单体风暴过程分析[J].气象,2017,43(6):745－755.
[6] 黄晓龙,高丽.2014 年 3.19 台州冰雹过程中尺度分析[J].气象,2016,42(6):696－708.