

Radar feature analysis of a hail weather event in Nagqu

Jue Cang¹ Jinmeiwangmu² Baimadeqing¹ Awangcizhen¹

1. Nagqu Meteorological Bureau, Nagqu, Xizang, 852000, China

2. Pulan County Meteorological Bureau, Ali, Xizang, 859500, China

Abstract

This article analyzes the ground elements, circulation background, and radar echo characteristics of the hail weather process in the Sini area on July 27, 2023, using conventional ground data, sounding data, c-band radar data, and NCPE ($1^\circ \times 1^\circ$) reanalysis data. The results show that the diameter of the hail weather reached 10mm, accompanied by 15.5mm of precipitation, and the ground temperature and dynamic conditions were conducive to water vapor condensation and hail formation. This process basically appears in the form of a single unit, and the echo intensity remains above 60dBZ continuously during the hail period. The radial velocity has obvious low-level convergence, and there is a cyclonic feature before hail. The low-level convergence and high-level divergence are conducive to the development of hail. The maximum vertical liquid water content is 5.5kg/m². At 48dBZ, the maximum height develops vertically to about 9km, and at 50dBZ, the intensity expands to over 6km. There is a certain degree of wind vertical shear at a height of 0-6km, and the phenomenon of warm advection at lower levels and cold advection at higher levels provides thermal instability conditions.

Keywords

Sini District; Hail; Circulation background; radar echo

那曲一次冰雹天气雷达特征分析

仓决¹ 晋美旺姆² 白玛德庆¹ 阿旺次珍¹

1. 那曲市气象局, 中国·西藏 那曲 852000

2. 普兰县气象局, 中国·西藏 阿里 859500

摘 要

本文利用色尼区地面常规资料、探空资料、c波段雷达资料、NCPE ($1^\circ \times 1^\circ$) 再分析资料等, 对色尼区2023年7月27日的冰雹天气过程的地面要素、环流背景及雷达回波特征进行了分析, 结果表明: 此次冰雹天气直径达10mm, 伴随15.5mm的降水, 地面气温条件、动力条件均有利于水汽凝结和冰雹形成。此次过程基本上是以单体形式出现, 在降雹期间回波强度持续保持在60dBZ以上。径向速度低层辐合明显, 且在降雹前出现了中气旋特征, 低层辐合高层辐散, 有利于冰雹的发展。垂直液态含水量最大值为5.5kg/m²。48dBZ时最大高度垂直发展至9km左右, 50dBZ时强度拓展至6KM以上。0~6km高度存在一定的风垂直切变, 且低层暖平流高层冷平流的现象提供热力不稳定条件。

关键词

色尼区; 冰雹; 环流背景; 雷达回波

1 引言

那曲市位于西藏的北部、青藏高原腹地, 唐古拉山脉、念青唐古拉山脉和冈底斯山脉之间。整个地形呈西北高东南低的倾斜状。中部属高原丘陵地形; 西北部海拔较高, 北部属唐古拉山区域, 平均海拔在 4500 米左右, 是西藏自治区最大的天然牧场之一。那曲市地域广阔、地形复杂、气候类型众多, 造成了冬季寒冷、夏季短暂、四季不分明的气候类型。那曲海拔高, 气温显著变化使得整个大气系统向不稳定方向发展, 低云量不断增长, 短时强降水、雷雨大风和冰雹等强对流天气现象发生的频率大为增加, 往往造成严重的气象灾

害。由于青藏高原大地形的动力和热力作用, 造成高原上局地辐合上升运动加强, 使得高原上空大气处于不稳定状态, 为强对流性天气发生发展提供了有利的条件, 致使高原多冰雹发生冰雹天气也是那曲频发的一种灾害性天气, 冰雹天气历时短、局地性强, 通常降雹时间只有 10~30 分钟, 少数在 30 分钟以上, 那曲是全国冰雹中心之一^[2], 强的冰雹灾害常常给工农产业、交通和人民财产安全造成一定的影响。

冰雹作为一种强对流天气过程其发生和演变过程复杂, C 波段天气雷达作为一种先进的探测工具, 能够高精度地实时监测云雨目标的强度、速度和谱宽信息等, 天气雷达资料作为研究冰雹天气的重要数据来源, 对于冰雹的形成发展过程以及预警具有重要意义。近年来许多研究学者对冰雹天气过程开展了研究例如: 超级单体在反射率因子图上存在钩状回波, 相应的垂直剖面呈现出典型的有界弱回波区、回波悬

【作者简介】仓决 (1997-), 女, 藏族, 中国西藏日喀则人, 本科, 助理工程师, 从事气象信息技术研究。

垂、旁瓣回波和三体散射等特征，在径向速度图上表现出明显的中气旋特征^[3]。李积宏等^[2]基于多普勒天气雷达，对那曲冰雹天气过程分析，发现中气旋可以作为那曲冰雹天气发生的重要指标，同时指出反射率因子 $\geq 40\text{dBZ}$ 、回波顶高在 $10\sim 11\text{km}$ 、垂直液态含水量范围在 $2\sim 3\text{kg}/\text{m}^3$ 可以作为那曲发生冰雹天气的指标要素。

本文借助 2023 年 7 月 27 日色尼区地面常规观测资料、探空资料、c 波段雷达观测资料、NCPE ($1^\circ \times 1^\circ$) 再分析资料等，对色尼区 2023 年 7 月 27 日的一次冰雹天气过程的环流背景及雷达回波特征，从而为那曲冰雹等强对流天气的监测、预警和防灾减灾提供一些参考依据。

2 地面要素变化

本文使用的常规地面资料来源于那曲市国家基准气候

站，综合气象观测业务运行平台。7 月 27 日 16 时 33 分—16 时 47 分那曲地面观测站测到直径为 10mm 的冰雹，17 时那曲站累计小时降水量达到 15.5mm。从此次冰雹天气发生前后的地面常规要素变化（图 1）上可以看出，08 时开始地面气温上升，露点温度缓慢增大，16 时（冰雹过程发生时段）出现日最高气温 14.1℃，此时地表热度迅速累积，对于对流的发展提供热力条件，之后气温骤降。从地面相对湿度来看（表 1），08 时开始相对湿度缓慢下降，17 时（冰雹过程结束）相对湿度骤然往回升至最高。在降雹天气过程气温的骤降和湿度的增加有利于水汽的凝结和冰雹的形成。降雹期间气温迅速降低，相对湿度明显增大。气压（表 1）在上午有所上升，12 时开始下降，16 时下降至 590hpa，较 10 时气压下降了 1.7hpa，出现负变压有利于上升运动发展。

表 1 7 月 27 日 08 时 -20 时相对湿度与气压变化

时间	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
相对湿度	83	82	77	75	67	64	64	59	53	85	85	72	76
本站气压	591.4	591.6	591.7	591.7	591.6	591.2	590.7	590.5	590.0	590.5	590.0	589.9	590.2

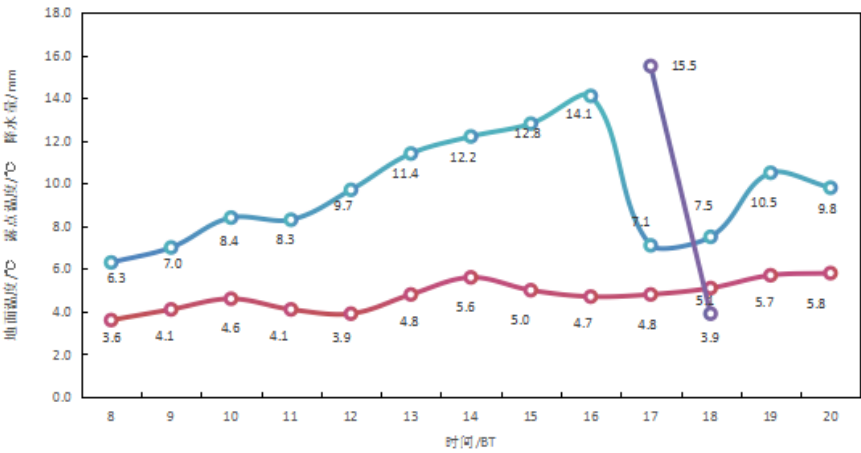


图 1 7 月 27 日 08 时 -20 时逐小时地面温度、露点温度、降水量变化

3 环流背景分析

从 06 时的 500hpa（图 2a）中高纬环流形势来看，欧亚大陆中高纬表现为两槽一脊型，副热带高压位置偏西偏北，伊朗高压位置偏东，两高之间的孟加拉湾至印度半岛上空形成了强度较弱的低值中心，高原中南部受高压控制，色尼区位于高压北部的偏西气流中，此时结合卫星云图发现色尼区上空云量较少，这样的天气有利于上午地面吸收太阳辐射，使地面迅速加热，为午后的对流提供热力条件。到 12 时（图 2b），高原上空形成了较明显的风向辐合，色尼区位于辐合中心，为对流天气提供了动力条件。从高层 100hpa 环流配置来看（图 2c），06 时整个高原上空受南亚高压控制，有利于高层辐散抽吸，此时南亚高压位置偏东，到 12 时（图 2d）高压中心位置有所西移。这种低层辐合，

高层辐散的垂直环流对对流的发生发展有加分作用，使对流发展更旺盛。

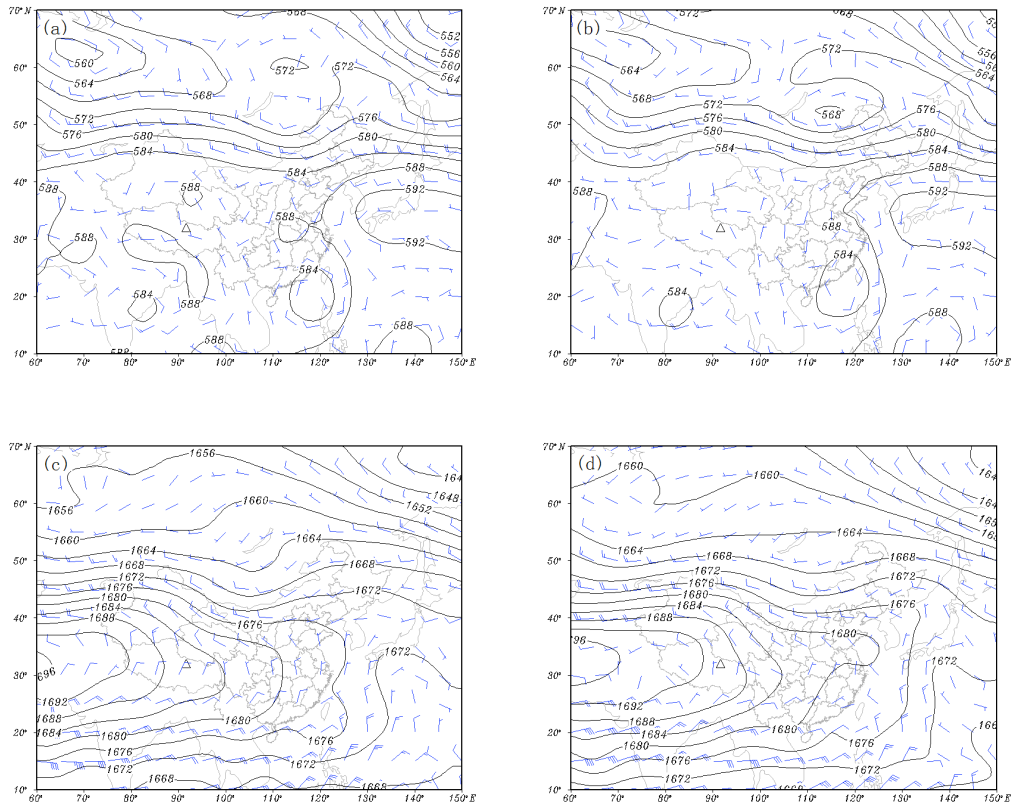
4 雷达资料分析

4.1 反射率因子分析

反射率因子是描述雷达回波强度的一个重要参数，它能反映出云中的水滴大小和密度^[1]。通过对反射率因子的分析，我们可以判断出冰雹的发展阶段。通常情况下，冰雹云的反射率因子较大，说明冰雹云中的水滴较大，有较强的降水能力。2023 年 7 月 27 日 16 时 13 分在色尼区的西面开始形成多个孤立的回波单体，从 2.4° （图 3a）和 6.0° （图 3b）仰角上看出高低层强回波中心均达 48dBZ，此后雷达回波不断发展加强并向东南方向移动，16 时 30 分（图 3c、3d），多单体合并，并向东南面移动，经过色尼区，此

时 2.4° 仰角中心最高回波达 62dBZ , 6.0° 中心最高回波达 55dBZ , 说明对流垂直发展旺盛, 有利于雹胚的生长, 16 时 33 分开始降雹, 16 时 36 分 2.4° (图 3e) 仰角上回波进一步加强, 最强回波强度达 71dBZ , 6.0° (图 3f) 最强回波

强度达 68dBZ , 16 时 47 分 (图 3g、3h) 最强回波强度减弱至 55dBZ , 此时冰雹过程刚好结束。此次过程基本上是以单体形式出现, 后期对流合体并逐渐消亡, 在降雹期间 (16 时 33 分—16 时 47 分) 回波强度持续保持在 55dBZ 以上。



黑色等值线为等高线, 蓝色为风, 空心三角形为色尼区所在大概位置

图 2 06 时 (a)、12 时 (b) 500hpa 高度场, 06 时 (c)、12 时 (d) 100hpa 高度场

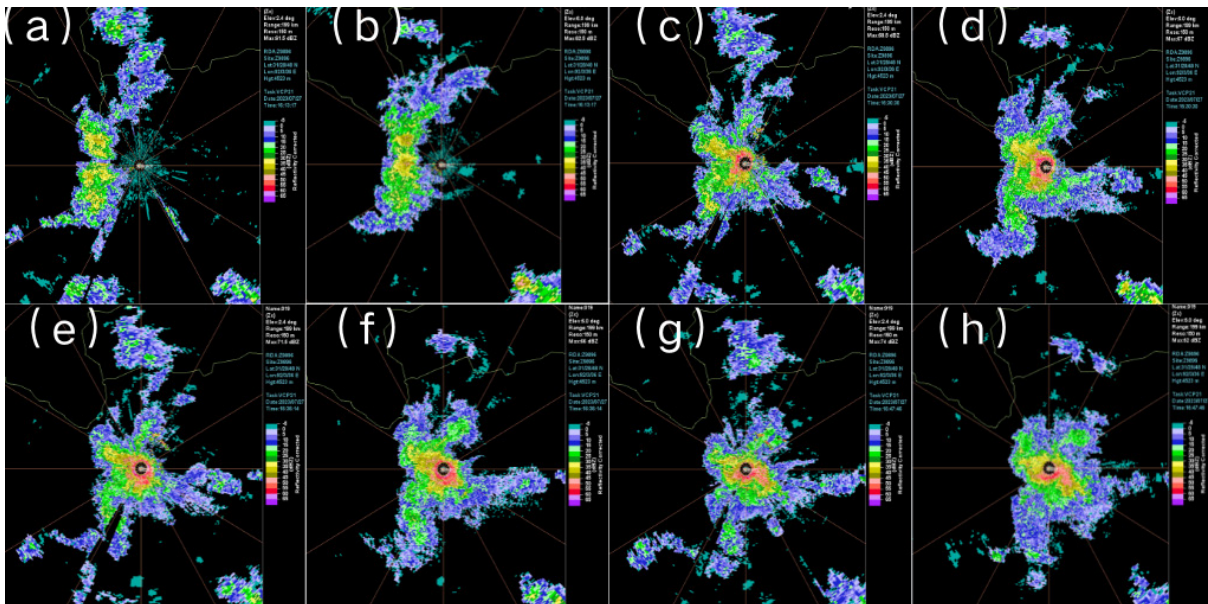


图 3 16 时 13 分 2.4° (a)、 6° (b) 反射率因子图, 16 时 30 分 2.4° (c)、 6° (d) 反射率因子图, 16 时 36 分 2.4° (e)、 6° (f) 反射率因子图, 16 时 47 分 2.4° (g)、 6° (h) 反射率因子图

4.2 径向速度特征分析

新一代天气雷达的径向速度图像有助于识别出中气旋的幅合幅散等,通过径向速度图像分析中小尺度系统的类型。2023年7月27日16时13分1.5°(图4a)与2.4°(图4b)仰角径向速度图中低层负速度区面积>正速度区面积,说明有辐合;另外,在那曲西面最北单体对应位置出现了中气旋(红色圆圈内),1.5°与2.4°仰角中中气旋负速度区位于外部,正速度区位于内部,为辐合型,说明低层有辐合,6.0°(图4c)仰角中中气旋负速度区位于内部,正速度区位于外部,为辐散型,说明高层有辐散,这种高低层配置有利于冰雹的发生发展。16时36分多单体合并,中气旋消散,但低层依然表现为辐合(图4d、e),16时47分1.5°(图4g)与2.4°(图4h)仰角径向速度图中低层正速度区面

积>负速度区面积,说明有辐散,此时冰雹过程刚好结束。

4.3 垂直积分液态含水量(VIL)特征

在冰雹的回波识别中,VIL垂直积分液态含水量的大小反映了回波中是否存在冰雹颗粒^[4],冰雹天气需要一定的水汽支撑,在雷达中用垂直积分液态含水量来表示水汽含量,李积宏等基于多普勒天气雷达对那曲冰雹天气过程分析中指出发生冰雹时那曲垂直液态含水量范围在2~3kg/m³^[2]。2023年7月27日16时13分(图5a)在降雹前最高垂直液态含水量为2.5kg/m³,16时36分(图5b)垂直液态含水量增加至5.5kg/m³,这刚好与反射率因子强度中心变化相似,之后随着云团回波减弱,垂直液态含水量缓慢下降,到17时02分时(图略)50公里内,最大垂直液态含水量仅为1.0kg/m³,说明此时水汽条件已下降。

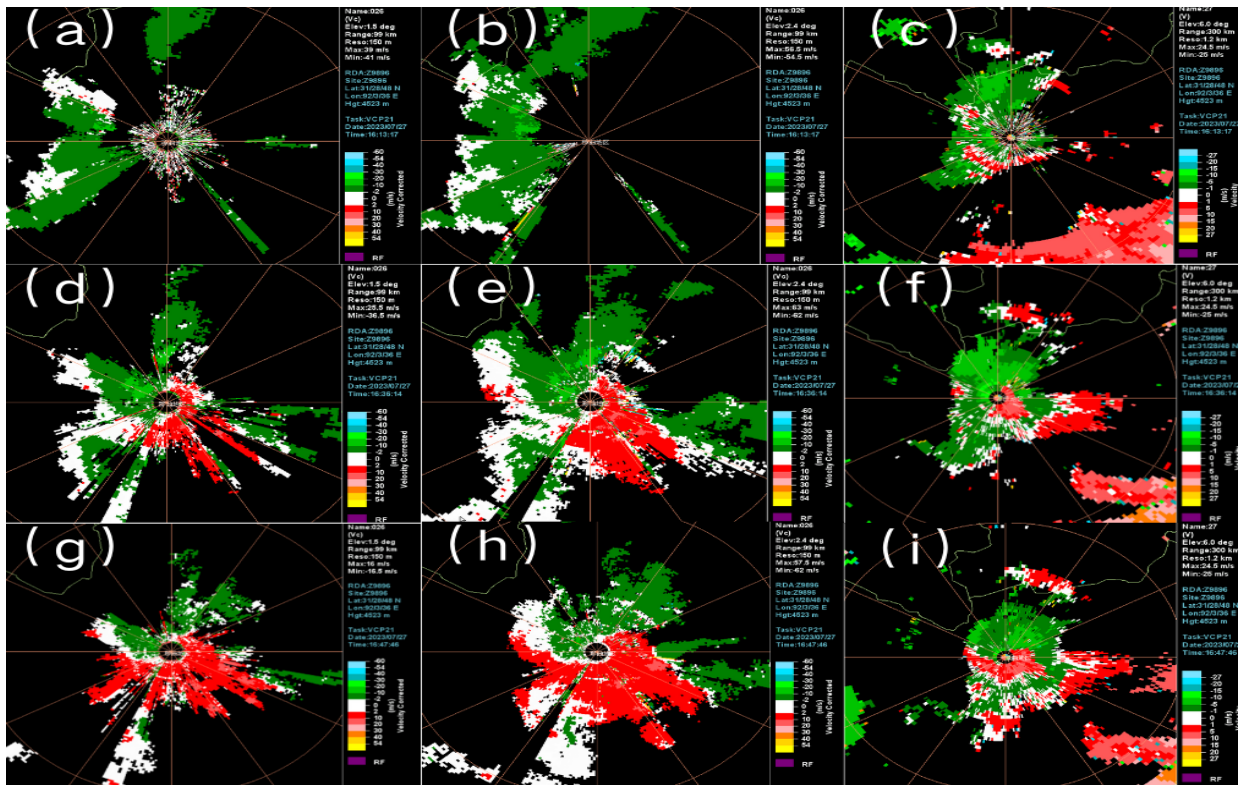


图4 16时13分1.5°(a)、2.4°(b)、6.0°(c)径向速度图,16时36分1.5°(d)、2.4°(e)、6.0°(f)径向速度图,16时47分1.5°(g)、2.4°(h)、6.0°(i)径向速度图

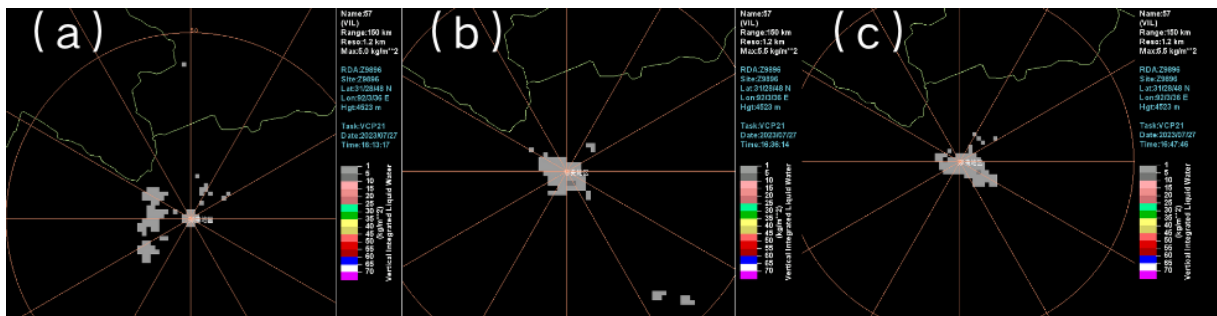


图5 16时13分(a)、16时36分(b)、16时47分(c)垂直液态积分含水量

4.4 反射率因子垂直剖面图

通过对 RSC 可观测冰雹回波的垂直结构^[4]。2023 年 7 月 27 日 16 时 13 分垂直剖面图可以看出(图 6a), 在色尼区的西北侧方位有对流单体发展, 距离雷达 4km, 中心最大直 48dBZ, 垂直发展至 9km 左右。16 时 36 分多单体合并后向东南方向移动, 并正好经过色尼区(图 6b), 此时回波强度明显加强, 距离雷达 0~5km 内回波强度在 50dBZ 以上, 并强回波区已接地, 50dBZ 强度拓展至 6KM 以上, 中心最强反射率因子达 65dBZ。16 时 47 分回波强度减弱, 冰雹天气结束。因回波区位于雷达站上空, 静锥区及距离的原因, 未在垂直结构图上发现悬垂回波、三体散射等特殊

回波。

4.5 风廓线 (VWP) 特征分析

从 7 月 27 日 16 时 13 分—17 时 10 分风廓线产品中可以看出在降雹前和降雹中中低层风向自下而上西风转为西北或北风, 风随高度顺转有暖平流, 中高层西北风转为西风, 风随高度逆转, 有冷平流, 这样上干冷, 下暖湿的垂直结构使大气不稳定性增加, 有利于强对流的发生发展。另外, 从 06km 风速垂直变化来看, 从低层 4m/s 到中层 12m/s, 风速垂直切变达 8m/s, 一定的风垂直切变, 增加风暴螺旋度, 使对流进一步发展。

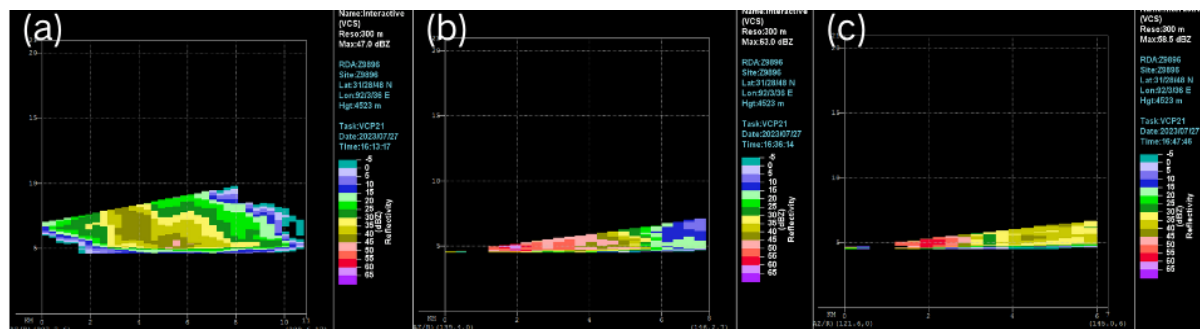


图 6 16 时 13 分 (a)、16 时 36 分 (b)、16 时 47 分 (c) 垂直剖面图

5 结论

2023 年 7 月 27 日, 16 时 33—16 时 47 分那曲市色尼区出现一次冰雹天气过程, 冰雹直径达 10mm, 那曲本站观测到 15.5mm 的降水, 本文利用 2023 年 7 月 27 日色尼区地面常规观测资料、探空资料、c 波段雷达观测资料、NCPE ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 再分析资料等, 对色尼区 2023 年 7 月 27 日 16 时 33 分—16 时 47 分的冰雹天气过程的环流背景及雷达回波特征进行了分析, 结果表明:

①从那曲站地面观测要素来看, 气温的变化可以反映出冰雹发生前大气层结的稳定性情况, 湿度更是影响冰雹形成的重要因子, 冰雹发生前后一小时内地气温下降 7.0°C , 相对湿度迅速增加, 有风切变, 气温的骤降和湿度的增加有利于水汽的凝结和冰雹的形成。气压变化上看 12 时开始下降, 16 时下降至 590hpa, 较 10 时气压下降了 1.7hpa, 出现负变压有利于上升运动发展。

② 500pha 环流场上受高压脊控制, 上午天空状况较好, 地面加热明显, 到 12 时色尼区上空形成了辐合中心, 为对流天气提供了动力条件; 100hpa 环流场上整个高原上空受南亚高压控制, 有利于高层辐散抽吸, 加强上升运动。中低层风随高度顺转存在暖平流, 中高层风随高度逆转存在冷平流, 这样上干冷, 下暖湿的垂直结构使大气不稳定性增加, 有利于强对流的发生发展。

③在降雹前 (16 时 13 分) 在低层径向速度图上出现较

为明显的中气旋特征, 最大旋转速度达 12m/s, 在降雹前低层存在辐合, 高层存在辐散, 这种高低层的配置有利于冰雹天气的发生发展。

④此次冰雹主要是以单体形式出现, 反射率因子上无明显特征, 新一代天气雷达反射率因子大于 48dBZ, 最强回波中心值达 64dBZ, 降雹期间 (16 时 33 分—16 时 47 分) 回波强度持续保持在 55dBZ 以上, 低仰角上反射率因子最大达 71dBZ。48dBZ 时最大高度垂直发展至 9km 左右。垂直液态含水量存在较为明显的跃增。

⑤另外, 此次研究也存在一些限制和不足之处。例如: 因回波区位于雷达站上空, 静锥区及距离的原因, 在垂直结构图上不能明显发现特殊回波特征等。

总的来说, 通过对那曲一次冰雹天气的雷达特征分析, 我们能够更好地理解 and 识别冰雹天气的特征, 这有助于提高我们对冰雹天气的预警能力, 从而减少冰雹天气对人类生活和财产的损失。

参考文献

- [1] 俞小鼎. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 气象出版社, 2006.
- [2] 李积宏, 刘益, 次仁卓玛, 等. 基于多普勒天气雷达建立那曲县冰雹天气要素指标初探[J]. 西藏科技, 2016(5): 3.
- [3] 汤兴芝, 俞小鼎, 熊秋芬, 等. 鄂西南冬末一次罕见的强冰雹过程分析[J]. 气象, 2022, 48(5): 15.
- [4] 田白, 马中元, 陈鲍发, 等. 2022 年 3 月 14 日江西及周边地区冰雹回波特征分析[J]. 气象, 2023, 49(12): 1521-1531.