

朱思华,罗继,曲良璐.新疆阿克苏地区冰雹时空分布及雷达回波特征[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):81-88.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 新疆阿克苏地区冰雹时空分布及雷达回波特征

朱思华<sup>1</sup>,罗继<sup>2</sup>,曲良璐<sup>2</sup>

(1.新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室,新疆 乌鲁木齐 830002;2.阿克苏地区气象局,新疆 阿克苏 843000)

**摘要:**利用“新疆气象灾情直报系统”冰雹灾情数据和阿克苏地区人工防雷作业信息,分析了阿克苏地区9县市2010—2019年冰雹天气的时间变化和空间分布特征,选用阿克苏地区9县市2009—2019年10场冰雹天气过程,应用美国Gibson Ridge Software LLC公司GR2Analyst雷达产品处理软件分析二次产品,得出以下结论:阿克苏地区近10 a平均每年出现冰雹14.5次,冰雹次数呈增多趋势,主要表现为春秋两季增多,5—7月冰雹天气高发,15—20时是冰雹易发时段,18—20时为高发时段,沙雅县和温宿县是阿克苏地区冰雹频发区。统计10个冰雹个例对流单体,1.5°仰角平均最大回波强度为50.7 dBZ、平均回波顶高为9.4 km、平均最大垂直液态水含量为12.8 kg·m<sup>-2</sup>。超级单体风暴的雷达回波PPI上有“V”形缺口,垂直结构RHI有弱回波区或有界弱回波区。有界弱回波区或弱回波区面积越大、弱回波区上部回波越强、弱回波区高度越高,则冰雹越强,多单体风暴和单体风暴雷达回波的主要产品值明显小于超级单体。近10 a阿克苏地区人工防雷作业需关注春秋两季冰雹增多趋势,人工防雷作业高峰时段应集中在16—19时,比冰雹高发时段提前1~2 h。

**关键词:**冰雹;时空分布;雷达回波;超级单体;阿克苏地区

中图分类号:P458.121.2 文献标识码:A 文章编号:1002-0799(2021)02-0081-08

新疆阿克苏地区地处天山南麓、塔里木盆地西北部,总面积为1 313 hm<sup>2</sup>,占新疆面积的8%,北部为中天山山脉,南部为塔克拉玛干沙漠,中部麓砾质扇形地、冲积平原区、戈壁、绿洲相间。由于幅员辽阔、地形复杂,区域气候差异明显,降水较少,具有暖温带大陆性干旱气候特征<sup>[1]</sup>。阿克苏地区是新疆重要的棉花、特色林果等作物生产区,作物种植规模大、产值高,是国家级优质棉种植基地和著名的瓜果之乡。新疆是国内冰雹灾害多发区<sup>[2]</sup>,阿克苏地区是新疆雹灾最严重的区域<sup>[3]</sup>,每年5—9月均会有不同程度的冰雹灾害,对当地棉花和林果业生产构成严

重威胁。“一带一路”战略发展对防灾减灾能力提出了更高要求,适时开展人工防雷作业是保障各种农作物生长免受冰雹灾害的重要举措。

有学者在冰雹频次及灾害分析中得出,近60 a新疆冰雹频次增多,6月频次最多<sup>[4]</sup>,而且1984—2014年新疆雹灾经济损失总体呈波动上升趋势<sup>[5]</sup>,阿克苏地区是3个雹灾高风险区之一<sup>[6]</sup>;在冰雹预报方面,通过分析34个冰雹个例,得出了阿克苏冰雹天气的判识指标<sup>[6]</sup>,分析了阿克苏地区冰雹云超级单体雷达回波特征,从技术角度提出了基于雷达图像的回波强度与支持向量机的雹云判别新方法<sup>[7]</sup>,得出冰雹发生前后动力、水汽、能量、层结不稳定状况,并得出了一些预报指标<sup>[8-12]</sup>。雹灾人工防御研究得出,阿克苏地区1978—2013年人工防雷作业后冰雹灾害明显减少<sup>[13]</sup>,张继东等<sup>[14]</sup>初步归纳了人工影响天气作业安全的一些保障措施。在全球气候变暖背景下,分析阿克苏地区近10 a冰雹天气时间和空

收稿日期:2020-02-28;修回日期:2020-08-11

基金项目:中亚大气科学研究基金(CASS201723);中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金资助项目(IDM201601);科技兴阿项目(202004)

作者简介:朱思华(1987—),男,工程师,主要从事人工影响天气研究。E-mail:15299158512@163.com

间分布及变化特征,选取10场典型冰雹天气过程,揭示冰雹对流云回波强度、回波顶高、垂直液态水含量、回波形态等雷达回波二次产品特征,对准确地判识雷达冰雹云回波提供经验和技术指标,结合近10a人工防雷作业的季节和作业高峰时段的分布特点,进一步增强人工防雷作业效果,最大限度地减少雹灾损失,提升冰雹防灾减灾能力和水平。

### 1 资料和方法

依据“新疆气象灾情直报系统”中阿克苏地区9县市资料和阿克苏地区人工影响天气办公室人工防雷作业信息,统计2010—2019年阿克苏地区9县市共145次冰雹及受灾面积和经济损失,分析近10a阿克苏地区冰雹天气的时间变化及空间分布特征、人工防雷作业次数的时间和空间特征。其中,春季为4—5月,夏季为6—8月,秋季为9—10月。阿克苏地区9县市分布见图1。

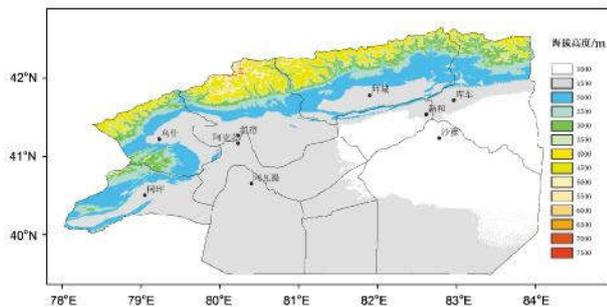


图1 阿克苏地区9县市地理位置分布

选用阿克苏地区9县市2009—2019年10场冰雹天气过程,利用阿克苏新一代C波段天气雷达VCP11模式体扫三维数据,应用美国Gibson Ridge Software LLC公司GR2Analyst雷达产品处理软件,生成反射率因子(R)和任意垂直剖面、回波顶高(ET)、垂直积分液态水含量(VIL)等二次产品。

### 2 冰雹时空分布

#### 2.1 时间变化

##### 2.1.1 年和季变化

图2为2010—2019年阿克苏地区9县市145次冰雹发生次数的年、季和月变化。对于年变化(图2a),近10a年平均冰雹次数为14.5次·a<sup>-1</sup>,呈现略增加趋势,冰雹次数年平均增加速率为0.32次·a<sup>-1</sup>,其中,2019年冰雹次数最多(23次),其次是2011年(22次),2015年最少,仅8次。

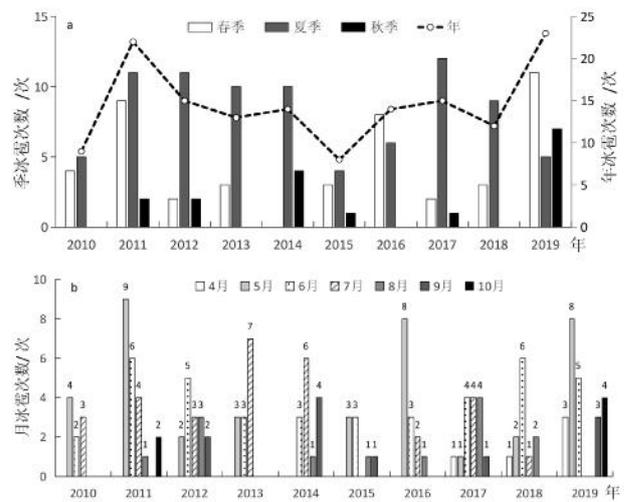


图2 2010—2019年阿克苏地区9县市年、季(a)和月(b)冰雹累计次数变化

对于季节变化(图2a),除冬季无冰雹外,其余三季均有出现。春季、夏季、秋季冰雹次数年平均变化速率分别为0.24、-0.16、0.25次·a<sup>-1</sup>,春季和秋季为增加趋势,夏季为减少趋势。冰雹次数春、夏、秋三季分别出现了45次、83次(最多)、17次(最少)。各季冰雹发生最多年份分别为:春季是2019年,为11次;夏季是2017年,为12次;秋季是2019年,为7次。冰雹发生季节最少年份分别为:春季是2012年和2017年,均为2次;夏季是2015年,为4次;秋季是2010、2013和2018年,均未出现。2019年春季、秋季和年冰雹次数均居首位。

近年来,阿克苏地区气候增暖增湿趋势明显。1971—2019年气温增加率为0.2℃/10a,降水增加率为7.2mm/10a。暖湿环境更有利于冰雹天气的发生。春季是冷暖交替季节,具备一定的水汽、热力条件且0℃层高度适宜,尤其是5—6月0℃层平均高度为3.8~4.2km,对流运动更容易达到冰雹凝结高度,形成冰雹。近10a来,夏季系统性降水和阴雨天气增多,夏季气温降低0.1℃,冰雹日数有所减少。增暖增湿气候使雷暴、冰雹等强对流天气活动时间延长,9月0℃层高度适宜(4km),强对流天气仍较频繁,10月也偶有冰雹天气发生(2019年10月10—13日沙雅县出现强冰雹灾害),秋季冰雹出现频次有所增加。

##### 2.1.2 月变化

图3显示了近10a阿克苏地区冰雹次数月分布状况,冰雹天气最多月份为5和6月,累计次数均为40次,7月为30次,8月为13次,9月为11次,4

月最少,为5次,10月次少,为6次。从冰雹次数累计变化看(图2b),冰雹月的年际变化起伏较大,年际差异较为明显,4—10月冰雹最多年份依次为:4月是2019年,为3次;5月是2011年,为9次;6月是2018年,为6次;7月是2013年,为7次;8月是2017年,为4次;9月是2014年,为4次;10月是2019年,为4次。冰雹最少月份除2010年6月为2次外,其余月均为无冰雹月。无冰雹月分别是:2010—2016年4月,2014年5月,2015年和2019年7月,2010、2013和2019年8月,2010、2011、2013、2016和2018年9月,10月除2011和2019年分别出现2次和4次之外,其余年份均无冰雹。

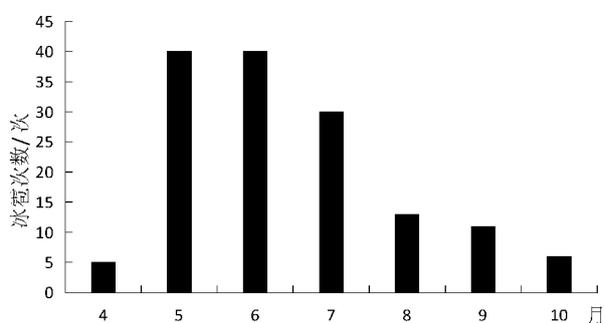


图3 2010—2019年4—10月阿克苏地区逐月冰雹累计次数

### 2.1.3 日变化

图4为阿克苏地区冰雹次数逐时变化分布,一日中除04—07时、08—11时未出现过冰雹天气外,其余时段均有出现。冰雹天气有2个峰值时段,最高峰时段18—20时累计出现45次(占31.0%),次高峰时段15—18时出现47次(占32.4%),这2个高峰时段共92次(占63.4%)。从逐时变化看,18—19时出现次数最多,共24次(2011年6次);其次是19—20时,出现21次;16—17时出现19次;00—01时、02—03时、03—04时、07—08时、12—13时、13—14时冰雹很少,均出现了1次。15—20时是冰雹

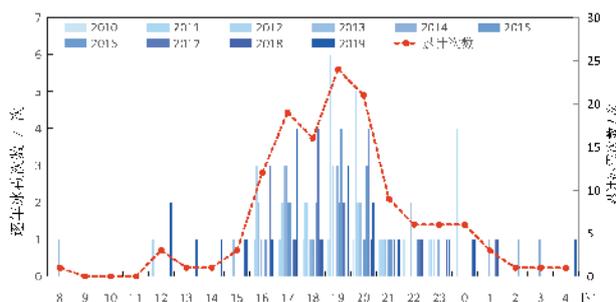


图4 2010—2019年阿克苏地区9县市冰雹逐时发生县次分布

易发时段,18—20时为高发时段,18—20时出现冰雹次数最多的为2011年,共发生11次,其次是2016年,发生7次。

冰雹每年最早和最晚出现时间年际差异较大,近10a冰雹最早出现于2013年4月18日沙雅县境内,冰雹直径约0.5cm。冰雹最晚出现时间也在沙雅县境内,是2019年10月13日。

## 2.2 空间变化

### 2.2.1 年和季分布

由于复杂的地形地貌,阿克苏地区冰雹分布具有区域差异性,从近10a阿克苏地区冰雹发生频次统计情况看(表1),年降雹次数最多的是位于西北部的温宿县,为28次;位于东南部的沙雅县次多,为25次;靠近中部的阿瓦提县和阿克苏市均为17次;最少的是西北部浅山一带的乌什县和东部平原地带新和县,仅有8次和9次。春季出现冰雹的次数西部多于东部,温宿县最多,为9次;其次是阿克苏市和阿瓦提县,均为7次;沙雅县6次,而靠山区一带的乌什和拜城较少。夏季出现冰雹次数较多的是温宿县(15次)和沙雅县(14次);拜城县也较多,出现11次。秋季出现冰雹次数较多的是沙雅县(5次)、温宿县(4次)。综上所述,沙雅县和温宿县冰雹次数较多,是阿克苏地区冰雹频发区。

表1 2010—2019年阿克苏地区9县市冰雹次数

县市	年	春季	夏季	秋季	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
阿克苏市	17	7	8	2	1	6	1	4	3	2	0
库车市	15	5	7	3	0	5	5	2	0	0	3
新和县	9	2	6	1	0	2	2	3	1	1	0
沙雅县	25	6	14	5	1	5	11	2	1	2	3
拜城县	13	2	11	0	0	2	8	3	0	0	0
温宿县	28	9	15	4	2	7	8	3	4	4	0
阿瓦提县	17	7	10	0	1	6	1	8	1	0	0
乌什县	8	2	6	0	0	2	2	2	2	0	0
柯坪县	13	5	6	2	0	5	2	3	1	2	0

### 2.2.2 月分布

5—7月9县市全都出现冰雹,其余月份有部分县市出现冰雹。月冰雹发生频次最高的县市如下:4、5、8和9月是温宿县(4月为2次,5月为7次,8月和9月为4次);6月是沙雅县,为11次;7月是阿瓦提县,为8次;10月是沙雅县,为3次。月冰雹次数最多的县市分别为:温宿县(8和9月均为4次),沙雅县(6月11次),阿瓦提县(7月8次)。

结合各县市冰雹年际变化,年冰雹次数最多的是2011和2019年(均为22次),沙雅县(6次)和温宿县(4次)较多。年冰雹次数较多的是温宿县(2012年出现5次)和库车县(2016年出现5次)。冰雹次数最少年份是2015年,温宿县仍为出现冰雹次数最多的县(2次)。

### 3 雷达回波特征

#### 3.1 三种对流风暴的雷达产品特征

冰雹对流云回波按不同结构可分为超级单体、多单体风暴和单体风暴。选取阿克苏地区10场冰雹天气过程,按三种结构进行分类统计。新一代天气雷达的二次产品数据主要包括1.5°仰角的反射率因子(R)及垂直结构、回波顶高(ET)、垂直积分液态水含量(VIL)四类,表2为10场冰雹过程中雷达回波最强时刻的主要产品特征。雷达主要产品能反映冰雹云雷达回波强度特征,由表2可知,1.5°仰角反射率因子平均值为50.7 dBZ,回波顶高平均值为9.4 km,垂直积分液态水含量平均值为12.8 kg·m<sup>-2</sup>。对应冰雹最大直径、持续时间和强度排序,进一步印证了1.5°仰角反射率因子越强、回波顶高越高、垂直积分液态水含量越大,则冰雹强度越强的结论<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 超级单体风暴

10场冰雹天气中有5场对流云结构为超级单体风暴(表2),超级单体风暴的雷达回波最强,表现为回波强度最强、回波顶高最高、垂直液态水含量最大。1.5°仰角的反射率因子平均值为55.6 dBZ,最强回波达64.5 dBZ(2009年8月19日),最弱回波为50.5 dBZ。平均回波顶高为10.6 km,最大回波顶高为11.3 km(2009年8月19日),其余均在10.0 km以上。平均垂直液态水含量为12.8 kg·m<sup>-2</sup>,最强

为51.2 kg·m<sup>-2</sup>(2009年8月19日),其余为11.5~16.1 kg·m<sup>-2</sup>。

超级单体风暴具有特殊结构,PPI上“V”形缺口。4场超级单体风暴PPI上,1.5°仰角的反射率因子及反射率因子剖面(图5)中,由于上升和下降气流强,在低层对流风暴运动的右后方均有“V”形缺口。垂直结构RHI有弱回波区或有界弱回波区。超级单体出现时大气层结非常不稳定,低层上升气流较强,降水质点被携带上升,加上高空辐散和环境风作用,反射率因子核心区偏向一侧,在风暴右后侧出现穹隆回波。当低层回波很弱,低空倾斜上升的气流在风暴右前方形成云沾,上升气流区下方出现较弱回波的穹隆回波,RHI上形成弱回波区(图5b~5d),当上升气流增强,低层无回波,上升气流区下方出现无回波的穹隆,形成有界弱回波区(图5a),有界弱回波区或弱回波区面积越大、弱回波区上部回波越强、弱回波区高度越高,则冰雹越强。

#### 3.3 多单体风暴

多单体风暴由几个处于不同发展阶段的单体组成,10场冰雹天气中仅有1场对流云回波结构为多单体风暴,该多单体风暴回波图像中(图6),1.5°仰角的反射率因子为51.0 dBZ、回波顶高为9.3 km、垂直液态水含量为10.0 kg·m<sup>-2</sup>,仅有一次的强度明显低于超级单体风暴的平均强度,其中,1.5°仰角的反射率因子较超级单体风暴平均偏弱4.1 dBZ、回波顶高平均偏低1.2 km、垂直液态水含量平均偏小10.6 kg·m<sup>-2</sup>,3个不同发展阶段的单体构成多单体风暴,中间风暴的前进方向右侧不断有新单体生成和并入,并在风暴内部继续发展增强为主要单体,且有超级单体结构,PPI上低层风暴右后方有“V”形缺口,垂直结构RHI上有弱回波区,其它2个老单体

表2 阿克苏地区10场冰雹新一代天气雷达产品最强时刻的主要物理量值

序号	日期	1.5°仰角反射率因子/dBZ	回波顶高/km	垂直液态水含量/(kg·m <sup>-2</sup> )	冰雹云回波结构	最大冰雹直径/cm	冰雹持续时间/min	强度排序
1	2009-08-19	64.5	11.3	51.2	超级单体	3~4	35	1
2	2010-05-20	53.0	10.3	12.0	超级单体	1~2	25	3
3	2011-05-24	55.5	10.3	16.1	超级单体	3	21	2
4	2014-07-08	50.5	10.6	11.5	超级单体	1~2	15	4
5	2013-07-08	51.0	9.3	10.0	多单体风暴	3	15	6
6	2015-05-18	47.5	8.9	7.0	单体风暴	1	20	7
7	2015-06-11	43.5	7.1	3.0	单体风暴	1	10	10
8	2015-09-07	48.0	8.9	4.0	单体风暴	1	10	8
9	2015-09-08	46.0	7.6	1.5	单体风暴	0.5~1	8	9
10	2017-06-07	52.0	9.9	12.0	超级风暴	4	10	5
	平均	50.7	9.4	12.8	—	2	17	—

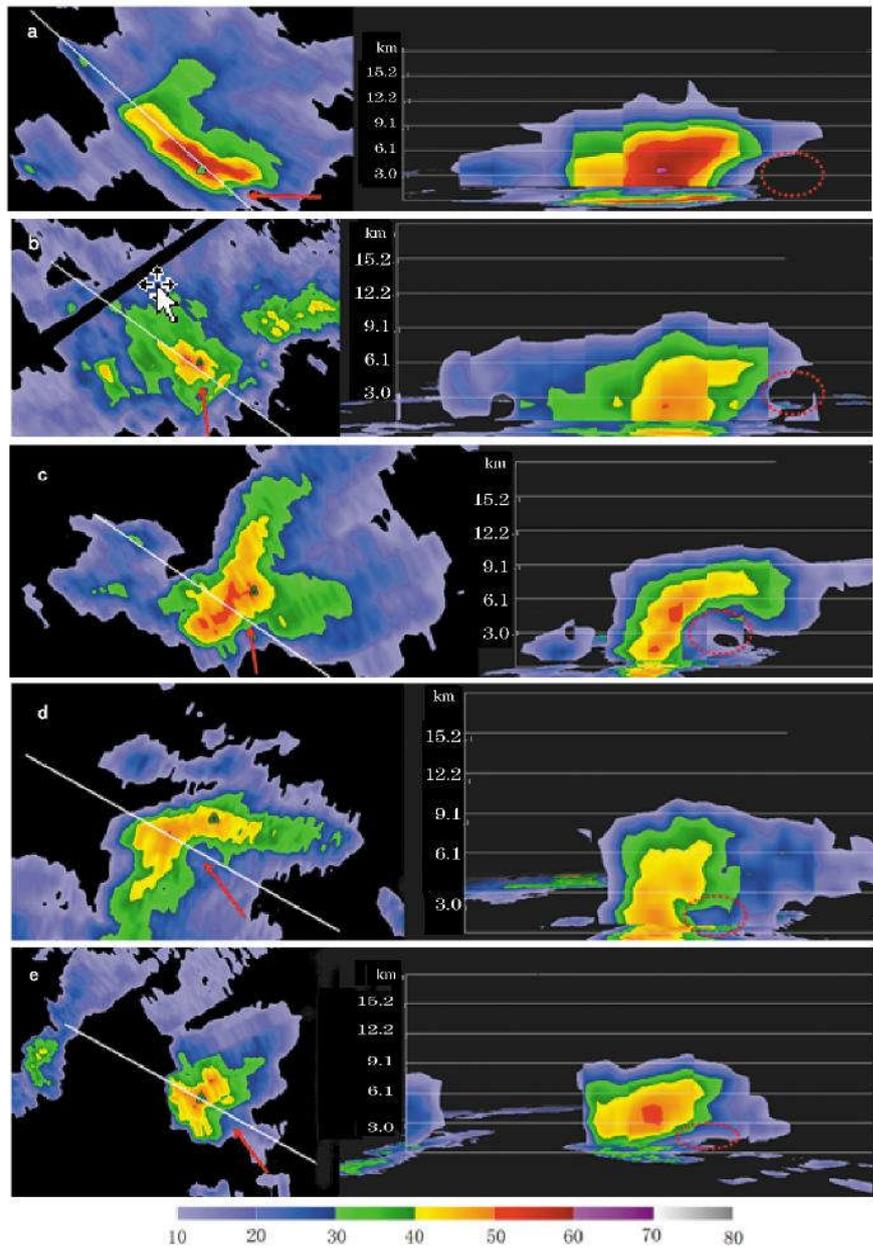


图5 阿克苏新一代天气雷达  $1.5^{\circ}$ 仰角的反射率因子及反射率因子剖面  
(a为2009年8月19日18:54,b为2011年5月20日18:03,c为2011年5月24日16:14,d为2014年7月8日15:52,e为2017年6月7日17:01;反射率因子单位:dBZ,回波高度单位:km,“→”位置为“V”形缺口,虚线圆圈部分为穹隆回波)

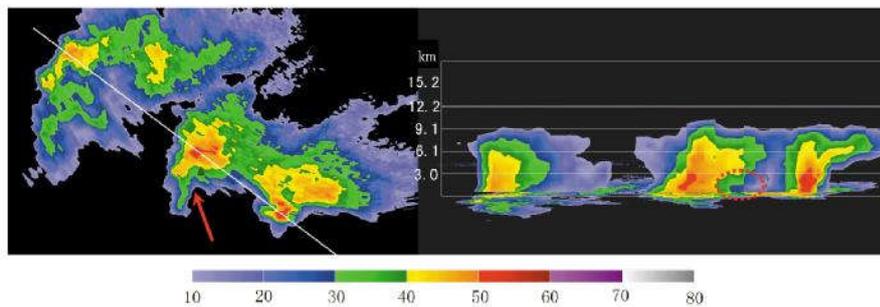


图6 2013年7月8日15:47阿克苏新一代天气雷达  $1.5^{\circ}$ 仰角的反射率因子及反射率因子剖面  
(反射率因子单位:dBZ,回波高度单位:km,“→”位置为“V”形缺口,虚线“O”形部分为穹隆回波)

减弱或消散。

### 3.4 单体风暴

10场冰雹天气中有4场对流云结构为单体风暴(表2)。4场单体风暴 $1.5^\circ$ 仰角的反射率因子平均为46.3 dBZ,平均回波顶高为8.1 km,平均垂直液态水含量为 $3.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其强度明显低于超级单体和多单体风暴的平均强度。与超级单体相比,单体风暴 $1.5^\circ$ 仰角的反射率因子平均偏弱8.9 dBZ,回波顶高平均偏低2.4 km,垂直液态水含量平均偏小 $16.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;与多单体相比,单体风暴 $1.5^\circ$ 仰角的反射率因子平均偏弱4.8 dBZ,回波顶高平均偏低1.2 km,垂直液态水含量平均偏小 $6.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

单体风暴与超级单体风暴相比,最大不同是PPI上无“V”形缺口,RHI上无穹隆结构,高低层最强回波位置基本重叠。旺盛阶段上升气流与下沉气流共存,回波强度增强,水平和垂直尺度不断扩大,当回波水平和垂直尺度大且强时,冰雹天气较强。2015年5月18日最强回波为48.5 dBZ、回波顶高为8.9 km,垂直液态水含量 $7.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (表2),较其它3次冰雹天气垂直液态水含量偏大,更有利于较强冰雹出现。

超级单体为冰雹云中最强的对流风暴,与其它两类对流风暴相比, $1.5^\circ$ 仰角的反射率因子强度比多单体风暴偏强约4.1 dBZ,比单体风暴偏强约8.9 dBZ;回波顶高比多单体风暴偏高约1.2 km,比单体风暴偏高约2.4 km;垂直液态水含量比多单体风暴偏大 $10.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比单体风暴偏大 $16.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,超级单体风暴是冰雹天气中需高度关注的对流风暴。

### 4 人工防雷作业时段与冰雹发生时段对比

阿克苏地区当地政府和气象工作者十分关注冰雹防御。按照阿克苏地区人工防雷提前作业、前置足量作业的原则,在冰雹云生成初期开展人工干预,提前消耗不稳定能量和对流云水汽,利用作业弹爆炸效果减弱或破坏上升运动发展,从而避免和减轻冰雹灾害的损失。从作业时间时次分布情况可知:作业时间分布呈“单峰”分布,与冰雹发生时次分布情况相似。14—22时为主要作业时段,平均作业次数达8次以上。作业高峰时段集中在16—19时,该时段年平均作业次数达20~22次,其中17—18时作业次数最多。阿克苏地区防雷作业指标一般为雷达回波组合反射率 $\geq 30 \text{ dBZ}$ ,回波中心高度达到对流中层(春季为4 km,夏季为5~6 km)且有发展趋势即可开展

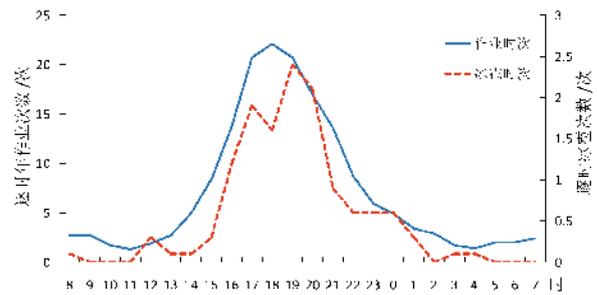


图7 2010—2019年阿克苏地区人工防雷作业次数与冰雹发生次数逐时分布

消雷作业。从冰雹发生高峰时段与作业高峰时段时间差可以看出,作业时间比冰雹发生时间提前1~2 h(图7)。这与冰雹云生命史和雷达回波强度从30 dBZ发展到50 dBZ以上所需时间相吻合,也间接表明提前作业时间量比较合理。

### 5 结论

选用2010—2019年近10 a阿克苏地区冰雹天气发生频次数据、10场冰雹天气过程资料,分析了冰雹天气的时间变化和空间分布特征,并重点就冰雹天气过程中的雷达回波特征展开分析,得出以下结论:

(1)近10 a阿克苏地区出现的冰雹次数平均为 $14.5 \text{ 次}\cdot\text{a}^{-1}$ ,年冰雹次数最多的是2011和2019年,最少的是2015年。夏季出现的冰雹次数减少,而年、春季和秋季出现的冰雹次数均呈增多趋势。5—7月为冰雹高发期,7月上旬、6月上旬、5月中旬冰雹频次较高。4月中旬开始出现冰雹,10月中旬结束。15—20时是冰雹易发时段,18—20时为高发时段。

(2)阿克苏地区冰雹天气年、春季、秋季的空间分布呈现出东南部临近沙漠地带和西北部靠山区一带较多、平原相对较少的特点,主要表现为东南部沙雅县和西北部温宿县为冰雹高发区。月分布中,5—7月9县市均有冰雹,4—9月逐月出现冰雹次数最多的分别是温宿(2次)、温宿(7次)、沙雅(11次)、阿瓦提(8次)、温宿(4次)、温宿(4次)、沙雅(3次)、库车(3次),也呈现出东南部沙雅县和西北部温宿县2个高发中心和频发区。

(3)阿克苏地区10场冰雹天气雷达的主要产品能较好地判定冰雹强度,主要产品的平均值( $1.5^\circ$ 仰角反射率因子为50.7 dBZ、回波顶高为9.4 km、垂直积分液态水含量为 $12.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )可作为判识冰雹的初步指标,分析印证了回波越强、回波顶高越高、

垂直积分液态水含量越大,则冰雹越强。

(4)10场冰雹天气对流云结构有5场为超级单体风暴,PPI上有“V”形缺口,垂直结构RHI有弱回波区或有界弱回波区,有界弱回波区或弱回波区面积越大,弱回波区上部回波越强,弱回波区高度越高,则冰雹越强。1.5°仰角反射率因子平均值为55.6 dBZ,回波顶高平均值为10.6 km;垂直液态水含量平均值为12.8 kg·m<sup>-2</sup>;最强回波为64.5 dBZ;最大回波顶高为11.3 km;最强垂直液态水含量为51.2 kg·m<sup>-2</sup>。多单体风暴和单体风暴雷达回波的主要产品值明显小于超级单体,超级单体与其它两类对流风暴相比,1.5°仰角的反射率因子强度较多单体风暴偏强约4.1 dBZ,较单体风暴偏强约8.9 dBZ;回波顶高比多单体风暴偏高约1.2 km,比单体风暴偏高约2.4 km;垂直液态水含量较多单体风暴偏大10.6 kg·m<sup>-2</sup>,比单体风暴偏大16.7 kg·m<sup>-2</sup>。

(5)近10 a阿克苏地区9县市人工防雹作业需重视春秋两季冰雹增多的趋势,防雹作业主要时段是午后至傍晚,16—19时为作业高峰时段,比冰雹高发时段提前1~2 h。

#### 参考文献:

- [1] 金炯,董光荣,申建友.新疆塔里木盆地的现代气候状况[J].干旱区资源与环境,1994,8(3):12-21.
- [2] 王文宇,王静爱.基于三种信息源的中国冰雹灾害区域分异研究[J].地理研究,2001,20(3):380-387.
- [3] 王秋香,任宜勇.51a新疆雹灾损失的时空分布特征[J].干旱区地理,2006,29(1):65-69.
- [4] 满苏尔·沙比提.南疆近60 a来冰雹灾害的时空变化特征分析[J].冰川冻土,2012,34(4):795-800.
- [5] 史莲梅,李斌,李圆圆,等.新疆冰雹灾害经济损失评估及风险区划研究[J].冰川冻土,2017,39(2):299-307.
- [6] 张磊,张继东,热苏力·阿不拉.南疆阿克苏冰雹天气的判识指标研究[J].干旱气象,2014,32(4):629-635.
- [7] 李硕,王雪,魏小亭,等.阿克苏地区农业防雹新方法[J].伊犁师范学院学报,2016,10(3):69-74.
- [8] 张俊兰,张莉.新疆阿克苏地区50 a来强冰雹天气的气候特征[J].中国沙漠,2011,31(1):236-241.
- [9] 张俊兰.南疆柯坪强雷暴天气的分析[J].气象,2011,37(7):880-888.
- [10] 张俊兰.南疆2011年5月一次强冰雹天气的综合分析[J].中国沙漠,2012,32(4):1119-1126.
- [11] 张俊兰,张宁.2009年阿克苏两次冰雹天气的对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(2):28-31.
- [12] 张俊兰,罗继.新疆天山南麓一次冰雹天气成因分析[J].气象科技,2012,40(3):436-444.
- [13] 李斌,郑博华,史莲梅,等.新疆阿克苏地区人工防雹作业效果研究[J].新疆农业科学,2016,53(5):942-948.
- [14] 张继东,张磊,张继韞.阿克苏地区人工影响天气安全的保障措施[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(增刊):229-231.
- [15] 刘贞,郭鸿鸣,李颀,等.秦皇岛一次飏线冰雹天气分析[J].气象与环境科学,2017,40(4):100-108.

## The Spatial-temporal Distribution and Radar Echo Signatures of Hail in Aksu, Xinjiang

ZHU Sihua<sup>1</sup>, LUO Ji<sup>2</sup>, QU Lianglu<sup>2</sup>

(1. Weather Modification Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830002, China;  
2. Xinjiang Aksu Regional Meteorological Observatory, Aksu 843000, China)

**Abstract** Based on the hail data of “Xinjiang Meteorological Disaster Direct Reporting System” and the information of hail suppression in Aksu, temporal variation and spatial distribution of hail weather during 2010—2019 in Aksu were analyzed. There were 10 hail weather processes in 9 counties of Aksu, and which were analyzed by applying GR2 Analyst radar product processing software by Gibson Ridge Software LLC, USA. The results showed that, there was average 14.5 times of hail per year in the last decade in Aksu. The hail times increased especially in spring and autumn. The hail had the high incidence of hail weather from May to July. It was prone period of hail weather from 15 pm to 20 pm, and it was the highest risk period from 18 pm to 20 pm. They were the frequent hail regions in Shaya County and Wensu County. Based on the analysis of the 10 hail cases convective monomers, the 1.5° elevation average maximum echo strength was 50.7 dBZ, and the average echo top height was 9.4 km, and the average maximum VIL content was 12.8 kg·m<sup>-2</sup>. There was a “V” notch “ on the radar echo PPI of the super cell storm. There was weak echo region or bounded weak echo region in RHI vertical structure. The larger the area of bounded weak echo region or weak echo region, the stronger the upper echo of weak echo region, the higher the height of weak echo region, the stronger the hail. The main product value of multi-monomer storm and single storm radar echo was obviously smaller than that of super-monomer. During the last 10 years, the artificial hail suppression in Aksu area should alert the increasing trend of hail in spring and autumn. The main period of artificial hail suppression was concentrated at 16–19 pm, and 1–2 hours should be ahead of the high hail period.

**Key words** hail; space-time distribution; radar echo; supercell; Aksu region