

孙鸣婧,刘俊哲,陈春艳,等.伊犁河谷冰雹分布及其雷达回波特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):39-46.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2022.05.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



伊犁河谷冰雹分布及其雷达回波特征分析

孙鸣婧^{1,2},刘俊哲³,陈春艳^{2*},施俊杰²,郑育琳²

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;
3.巴州气象局,新疆 库尔勒 841000)

摘 要:利用 2010—2021 年中国气象局灾情直报、地面观测、多普勒雷达资料,分析伊犁河谷冰雹时空分布及雹云雷达回波特征,结果表明:(1)5—8 月是冰雹高发期,其中 6 月出现冰雹次数最多且雹暴发展最旺盛;冰雹日变化峰值出现在 16—19 时,17 时出现最多。(2)冰雹易出现在河谷喇叭口地形的南北两侧,昭苏县的冰雹占伊犁河谷冰雹总数的一半以上,且多为普通单体和多单体风暴,线风暴和超级单体风暴多发在霍城县。(3)反射率因子 >50 dBZ,回波顶高 >8 km,VIL 出现跃增时,应警惕冰雹的发生;当回波顶高发展到 11 km 以上,出现冰雹的概率较大。(4)普通单体多为高悬的质心;多单体风暴生命史较长,会反复影响同一地区;线风暴组织性较差,结构松散,低层常出现钩状回波;超级单体风暴基本具备所有典型回波特征,但有些个例中气旋不明显。

关键词:冰雹;雷达回波特征;对流风暴;伊犁河谷

中图分类号:P468.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)05-0039-08

冰雹是新疆的主要灾害性天气之一,常给农牧业生产造成重大损失,严重制约着新疆粮棉、特色林果业的发展^[1]。由于冰雹空间尺度小、生命史短、突发性强,准确预报冰雹一直是短时临近预报中的难点和重点。目前,天气雷达是国内外冰雹预警及地面人工防雹作业最有效和最快速的探测手段^[2-3],预报员如何根据雷达探测资料识别雹云回波、确定落区及强度对冰雹的预报和预警十分重要。

我国常用回波强度、回波顶高、累积垂直液态含水量来做冰雹预警,然而在不同地区,总结出的冰雹预警指标也不尽相同,有些指标甚至差异很大^[4-8]。福建龙岩将回波强度 ≥ 60 dBZ、回波顶高 ≥ 8 km 作为冰雹预警指标^[9];安徽地区冰雹云的最大回波强

度基本在 55 dBZ 以上,回波顶高平均在 12.1 km^[10];湘西北山区夏季冰雹云的回波顶高均在 9 km 以上,垂直液态水含量一般为 30~35 kg/m²^[11]。以往的研究表明,在新疆的不同地区,冰雹的雷达回波表现特征并不一致,如新疆喀什地区冰雹预警指标为组合反射率 ≥ 50 dBZ、回波顶高 ≥ 9 km、垂直液体水含量 ≥ 20 kg/m²等^[12];在阿克苏地区判别冰雹的初步指标为反射率因子为 50.7 dBZ、回波顶高为 9.4 km、垂直积分液态水含量为 12.8 kg/m²^[13]。由于冰雹的强局地性,建立合理的分区预报、预警指标才能有效提高冰雹预报预警能力。

新疆天山西部的伊犁河和特克斯河流域是当地冰雹重要源地,以往对此地冰雹的研究多为昭苏县冰雹个例分析^[14],对于河谷其他县市的冰雹分析或雷达回波指标凝练很少,日常业务中科学支撑薄弱。本文统计近 12 年发生在伊犁河谷地区冰雹的时空分布、雹云雷达回波产品各项指标,并分析典型雹云个例的雷达回波特征,为伊犁河谷地区冰雹的临近预警提供参考。

收稿日期:2022-04-04;修回日期:2022-05-06

基金项目:中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2018015);国家自然科学基金(41865004)

作者简介:孙鸣婧(1990—),女,工程师,主要从事灾害性天气研究。
E-mail:516327545@qq.com

通信作者:陈春艳(1969—),女,正高级工程师,主要从事天气分析与预报技术研究。E-mail:chency357@sina.com

1 资料和方法

冰雹常由中小尺度天气系统造成,其尺度小于现行的气象观测网,因此使用气象台站观测到的地面降雹资料存在一定局限性。为最大限度减少冰雹观测数据遗漏,本文收集了中国气象局灾情直报信息作为冰雹实况的补充。2010—2021年统计出冰雹152次(其中2021年只有灾情资料,未收集到地面观测资料,因此在分析时间变化时所用资料时间为2010—2020年),根据其发生时间和地点分析其时空分布特征。剔除雷达资料缺失和回波上无明显对流风暴的个例,最终得到23次有较完整冰雹实况和雷达资料的过程(表1)。一次冰雹过程可能受多个对流单体影响,23次冰雹过程共32个雹暴单体,通过追踪这32个雹暴的演变,归纳总结伊犁河谷地区冰雹的雷达回波特征。

表1 有完整雷达探测数据的冰雹个例集

日期	雷达校正时间	地点	冰雹直径/cm	雹暴个数
2013-07-23	16:00	昭苏县	1	1
2013-08-09	18:10—18:50	特克斯县	2	1
2015-07-05	19:00—20:00, 19:00—21:00	霍城县	—	2
2015-07-05	19:00—20:00	察布查尔县	—	1
2016-05-28	14:20—15:30	霍尔果斯市	3	1
2016-05-28	17:30—18:30	察布查尔县	—	1
2016-05-28	01:00—01:30	尼勒克县	—	1
2016-06-19	20:00—21:00	察布查尔县	—	1
2016-06-19	19:00—20:00	霍城县	—	1
2016-06-24	16:00—17:40	霍城	1	1
2017-04-14	23:23—02:00	伊宁	0.4~1	1
2017-06-15	21:00	昭苏	1.3	1
2018-06-08	16:35	昭苏县	0.4~0.6	1
2018-06-22	19:38	昭苏县	1~2	1
2018-06-30	17:50—18:10	昭苏县	0.5~1	1
2018-07-18	14:20—15:30	昭苏县	—	1
2020-06-27	15:30—16:00	昭苏	0.2~2	2
2020-07-19	16:00—18:00	霍城、伊宁	0.3~1	4
2020-08-11	20:10—20:20	昭苏	0.5~1	1
2020-08-12	16:50—17:30	昭苏	0.3~1	2
2020-08-21	18:10—18:30, 19:00	昭苏	0.5~1	2
2021-06-06	14:40—17:00	特克斯	—	3
2021-06-22	14:05—14:20	昭苏	0.5~2	1

2 伊犁河谷冰雹的时空分布特征

2.1 年、月变化

伊犁河谷每年都有冰雹发生,但次数分布不均匀,逐年变化呈多波动型,可预测性低。2010—2020

年平均每年14次,其线性趋势呈略减少态势。2013年出现冰雹最多,2014年最少(图1)。

伊犁河谷降雹发生在4—10月,集中出现在4—9月,与新疆汛期时间一致,与内地沿海城市有较大差异^[15]。其中5—8月较多,占比86%;6月出现冰雹频次最高,占比30%;其次是7月,占比29%。记录中,最早的冰雹出现在4月5日(2010年新源县),最晚出现在10月1日(2011年特克斯县、昭苏县)。

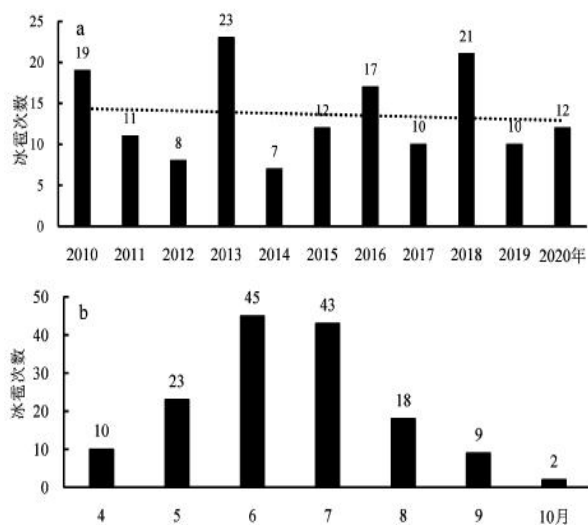


图1 2010—2020年冰雹次数的年(a)、月(b)变化

2.2 日变化

伊犁河谷冰雹日变化特征显著,主要出现在午后到夜间(13—23时),占比95%,其中16—19时为冰雹高发期,占比59%;最易出现冰雹的时次是17时,占比20%(图2)。与我国东部城市相比,伊犁河谷出现冰雹的时间跨度大(前半夜也易发生),其他省市多发生在傍晚,如安徽的冰雹主要集中在15—18时^[10]、唐山地区冰雹高发期在16—18时^[16]等。伊犁河谷冰雹易发时间与新疆其他地市也不完全相同,阿克苏地区冰雹易发时段为15—20时,高发时

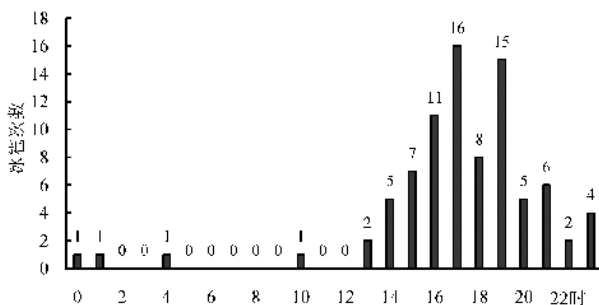


图2 冰雹次数的日变化

段为 18—20 时^[13],这对新疆强对流天气的监测及预警提出了更大的挑战。

2.3 空间分布

昭苏县出现冰雹次数最多,11 a 共有 84 次,占伊犁河谷地区冰雹总数(152 次)的一半以上,平均每年发生冰雹 8 次;其次是特克斯县,共 19 次,1 a 约 8 次;霍城县次之,共 14 次;尼勒克县共出现 9 次,霍尔果斯市 7 次,察布查尔县和伊宁市 6 次,新源县 4 次,巩留县 2 次。

图 3 为多普勒雷达监测的 32 个雹暴单体的移动路径图。冰雹多发在南部沿山的昭苏县和特克斯县及北部沿山的霍城县、尼勒克县和霍尔果斯市,这与河谷的山脉地貌息息相关,山脉的地形强迫抬升更利于强对流天气的发生。雹云的移动路径基本与山脉走向一致,在伊犁河谷北部雹云自西北向东南移动,在伊犁河谷南部雹云自西南向东北移动。

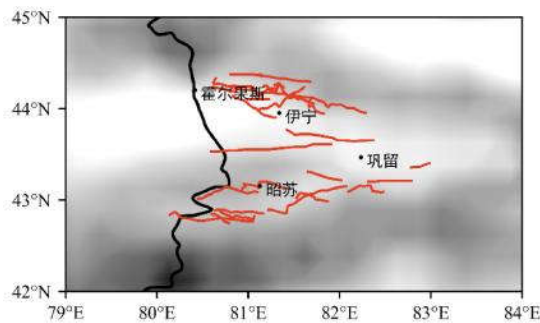


图 3 伊犁河谷冰雹云移动路径

3 冰雹云的雷达回波特征

3.1 回波强度

冰雹云是强对流风暴的产物,根据微波散射理论,当产生的冰雹尺寸越大时,其回波越强,因此冰雹云的最强回波常作为冰雹预报预测指标。在伊犁河谷地区,发展旺盛的冰雹云回波强度可达 70 dBZ 以上。表 2 统计了 32 次冰雹云的最大反射率因子值,其范围为 49~72 dBZ,与其他地区相比,最强回波反射率因子跨度大。总体来看,99% 的最大反射率因子在 50 dBZ 以上(美国国家气象局环境预报中心给出的参考值也是 50 dBZ^[17]),冰雹云最强回波常分布在 55~60 dBZ,占比 47%,与喀什地区一致^[12]。因此在监测伊犁河谷地区雷达回波时,如反射率因子发展到 50 dBZ 以上时,就应警惕出现冰雹的可能性。

3.2 回波顶高

回波顶高是用来分析对流云强弱和云体内上升气流伸展高度的指标。伊犁河谷地区冰雹云的最大回波顶高为 13.3 km,最小为 6.8 km,平均回波顶高

表 2 反射率因子强度分级统计

强度/dBZ	≤50	50~55	55~60	60~65	65~70	≥70
出现次数	1	5	15	7	2	2
百分比/%	3	16	47	22	6	6

为 11 km,与甘肃、湘西北地区、喀什地区相当。99% 的冰雹云回波顶高在 8 km 以上,冰雹云出现在 11~12 km 最多,占比 31%。几乎所有冰雹云的回波顶高都在 8 km 以上,因此当回波顶高发展到 8 km 时,就应警惕出现冰雹的可能,及时做好预警。

回波顶高的逐月分布呈单峰型,峰值出现在 6 月,即伊犁河谷地区的冰雹云在 6 月发展最高(图 4)。4—6 月,回波顶高随时间推移增大,冰雹云的强度越来越强,而 7—8 月回波顶高则呈下降趋势,冰雹云的强度逐渐减弱。产生冰雹的强对流风暴最显著的特征是反射率因子高值区向上扩展到较高的高度,伊犁河谷地区 50 dBZ 的强回波核也同样在 6 月发展得最高,2021 年 6 月 6 日 50 dBZ 强回波核伸至 10.6 km。

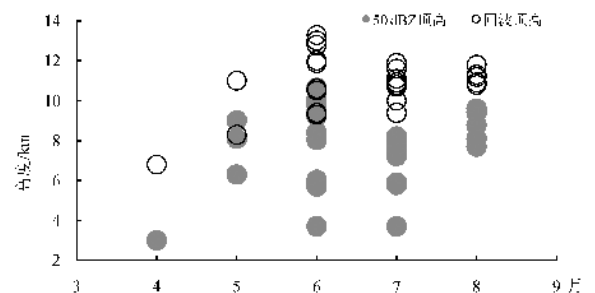


图 4 伊犁河谷冰雹云(强)回波顶高

3.3 垂直累积液体水含量

垂直累积液体水含量(VIL)是将反射率因子数据转化为等价的液体水值,它对于判别带有大冰雹的风暴有重要参考意义,如果 VIL 值异常大,则发生冰雹的可能性很大^[17]。将冰雹云单体发展过程中 VIL 的最大值记为 VIL_{max} ,表 3 统计了伊犁河谷 31 个单体的 VIL_{max} (剔除 2017 年 4 月 14 日伊宁个例,雷暴处于静椎区,VIL 值不可用),平均值为 19.6 kg/m²。不同雹暴 VIL_{max} 差异很大,最小值为 5.02 kg/m²,出现在 2020 年 8 月 11 日的昭苏县,最大冰雹直径 0.5~1 cm;最大值出现在 2021 年 6 月 6 日的特克斯县,为 47.7 kg/m²(无冰雹直径记录)。有记录的最大冰雹直径个例中(2016 年 5 月 28 日的霍尔果斯市冰雹达 3 cm)对应单体 VIL_{max} 仅 27.1 kg/m²,可见单体的 VIL_{max} 与降雹直径没有明显的对应关系。

表 3 单体最大 VIL 值分段统计 (kg/m^2)

$VIL_{\max}$	≤ 10	10~20	20~30	30~40	40~50
出现次数/次	3	18	5	3	2
百分比/%	10	58	16	10	6

多项研究指出 VIL 的变化,尤其是跃增的特性,可作为判断降雹的指标之一。图 5 给出雹暴单体 VIL 的时间序列变化(单体 $VIL_{\max}$ 出现时记为 0,时间单位为雷达体扫间隔,约 5~6 min),多数单体 VIL 的时间变化序列呈波动状态,基本都出现了 1~2 次跃增,单体 VIL 出现多次跃增,地面降雹往往也呈间歇性。遗憾的是新疆降雹实况时间记录多为 10 min 级甚至小时级,无法与 5 min 级的体扫对应比较,得出更具参考性的指标,但在伊犁河谷降雹过程中,都伴随着 VIL 的跃增。

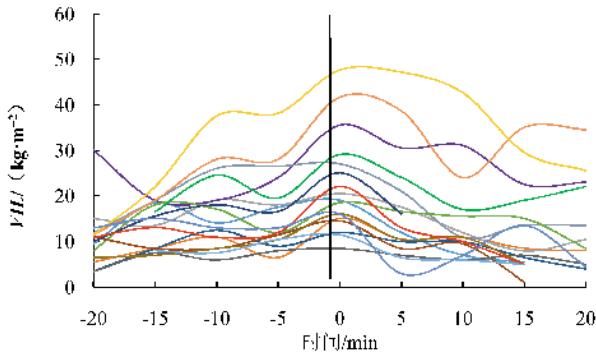


图 5 冰雹云单体 $VIL_{\max}$ 时间序列变化单体 ($VIL_{\max}$ 出现时间记为 0)

4 冰雹个例分析

根据传统的分类方法^[2,17]将对流风暴分为 4 类:普通单体风暴、多单体风暴、线风暴和超级单体风暴。

伊犁河谷冰雹云中最常见的为多单体风暴(表 4),9 a 共出现 11 次,其次是普通单体风暴,线风暴和超级单体风暴出现次数较少。普通单体风暴和多单体风暴均在昭苏县出现次数最多,值得注意的是霍城县是线风暴和超级单体风暴出现最多的地方,这可能是霍城县北部山脉对西南气流起辐合抬升作用,为对流风暴的发展提供了有利地形条件。

对比 4 类对流风暴的回波强度发现,普通单体、多单体、线风暴和超级单体风暴的最强回波范围及平均值依次逐渐增强,这指示了伊犁河谷地区对流风暴的强度排序。但回波顶高却与之相反,超级单体回波顶高在 4 类中最低,普通单体和多单体的回波

顶高相对较高,这与“对流风暴越强,回波顶高越高”^[18]相悖,以超级单体风暴为例,风暴成熟时 0.5° 仰角上观察到 30 m/s 左右的雷达径向速度,较强的水平风场可能抑制了对流在垂直方向的发展。3 次超级单体风暴均伴随着低层钩状回波和有界弱回波区,其中 2 次出现旁瓣回波,但未发现三体散射,只有普通单体风暴出现过 1 次三体散射现象。线风暴低层易出现钩状回波和垂直回波悬垂。

表 4 4 类对流风暴参数统计

	普通单体	多单体	线风暴	超级单体
个数	6	11	3	3
最高频次县	昭苏	昭苏	霍城、伊宁、昭苏	霍城
最强回波/dBZ	49~60(56.6)	52~63(57.2)	53~64(59.4)	65~72(69.2)
回波顶高/km	8.3~13.3(11.1)	9.4~13.3(11.4)	6.8~13(10.3)	9.4~11(10.1)
回波悬垂次数	0	1	2	3
三体散射次数	1	0	0	0
旁瓣回波次数	0	0	0	2
钩状回波次数	0	1	3	3

注:括号中为平均值。

4.1 普通单体风暴

2018 年 6 月 30 日 17—18 时,伊犁州昭苏县昭苏镇、昭苏马场、洪纳海乡出现暴雨、冰雹等恶劣天气,降雹持续约 20 min。造成此次冰雹的对流风暴为普通单体风暴。

17:10,>45 dBZ 的回波生成于昭苏以西边境外,随后向西南方向发展。17:15,回波强度>50 dBZ,回波顶高达 10 km,GR2 软件开始识别出冰雹。随后回波继续加强发展,最强回波达 59.5 dBZ、回波顶高达 13.2 km,50 dBZ 的强回波核高达 9.4 km,且在垂直方向上反射率因子大值区基本重叠,没有倾斜,剖面图上表现为高悬的回波质心,无弱回波区或有界弱回波区。对应的径向速度图上存在明显的正负速度对,低层有明显辐合,但高层辐散不明显。19:21 雹暴消亡,生命史约 2 h。

此次雹暴还伴随着三体散射现象,17:41 在 2.4° 和 3.4° 仰角雷达径向上均观测到三体散射长钉(TBSS),共维持了 5 个体扫约 20 min,由此判断降雹最晚 17:41 开始。而 VIL 在 17:31 出现跃增,由 $13.1 \text{ kg}/\text{m}^2$ 升至 $30.1 \text{ kg}/\text{m}^2$,从 VIL 出现跃增到降雹,时间 10 min。

4.2 多单体风暴

2021 年 6 月 6 日 15—17 时,特克斯县阔克铁

热克乡、乔拉克铁热克镇、喀拉托海镇出现暴雨冰雹等灾害天气。造成阔克铁热克乡、乔拉克铁热克镇降雹的雹云为普通单体风暴,其在东移北上过程中分裂发展,形成多单体风暴,继而造成喀拉托海镇降雨降雹。

14:20,特克斯西边界生成一对流单体 A0(图6a黄色箭头始端),其在北上东移的过程中逐渐增强,在 14:38—15:58 的 15 个体扫中,GR2 软件均预警了大冰雹,回波强度均在 50 dBZ 以上,回波顶高在 11 km 以上,VIL 出现了 3 次跃增,跃增量分别是 13.6、8.6、9 kg/m²,预警指标也适用于此个例。15:40 前后,对流单体 A0 造成降雹,降雹时间与灾情记录时间一致。

15:46(图 6b),A0 的西侧出现了新单体,普通单体风暴开始发展为多单体风暴。16:03,A0 开始减弱,分裂成 A 和 B 两个单体(图 6c),并在西侧新生了单体 C、D;随后多单体风暴整体东移,在风暴的西侧、西北侧不断有新的单体生成(图 6d),这些单体分别增长、成熟、衰减。以 G—F—C 一条线上的 3 个单体为例作剖面(图 6e),可清晰地看出多单体风暴的传播过程,G 在发展并趋于成熟(通常最强烈的天气都由这个阶段的对流单体产生),F 在减弱趋于衰亡,C 已处于衰亡阶段。

普通单体风暴在 15:23 前后发展为多单体风

暴,此后不断有新的单体在多单体固定一侧生成,说明有利的天气条件一直在持续。20 时前后多单体风暴消亡,共历时 4.5 h,生命史较长。

4.3 线风暴

2016 年 6 月 19 日 19—20 时,霍城县出现强对流天气,其中尺度系统为线风暴,此线风暴由多单体风暴演变而来。18:55 霍城县东部有 3 个孤立对流单体 A、B、C(图 7),A 缓慢东南移并不断发展加强,B 和 C 两侧不断有新的对流单体生成并互相靠拢加强(图 7a);19:12 这些分散的对流单体结合在一起,呈断线型排列(图 7b),初具线风暴特征,最大回波强度达 56 dBZ。随后线风暴继续南下,D 单体移速快,19:39 与线风暴合并,在线风暴的东侧仍有新的单体生成。19:45 线风暴发展到成熟阶段(图 7d),长度约 40 km,显著特征是回波整体呈弱“弓形”结构。

从雷达不同仰角径向速度的演变来看,无论是高层还是低层,径向速度均以线风暴为界,南北两侧分别为正速度区和负速度区(以 2.4°仰角为例,图 7e),即线风暴北侧为强西北风,南侧为弱东南风,线风暴生成于南北气流汇合处。但此线风暴的组织性较差,多个单体分布较零落,强回波顶高不超过 5 km。20:00,线开始断裂成三段,后逐渐减弱消亡,生命史约 1.5 h。

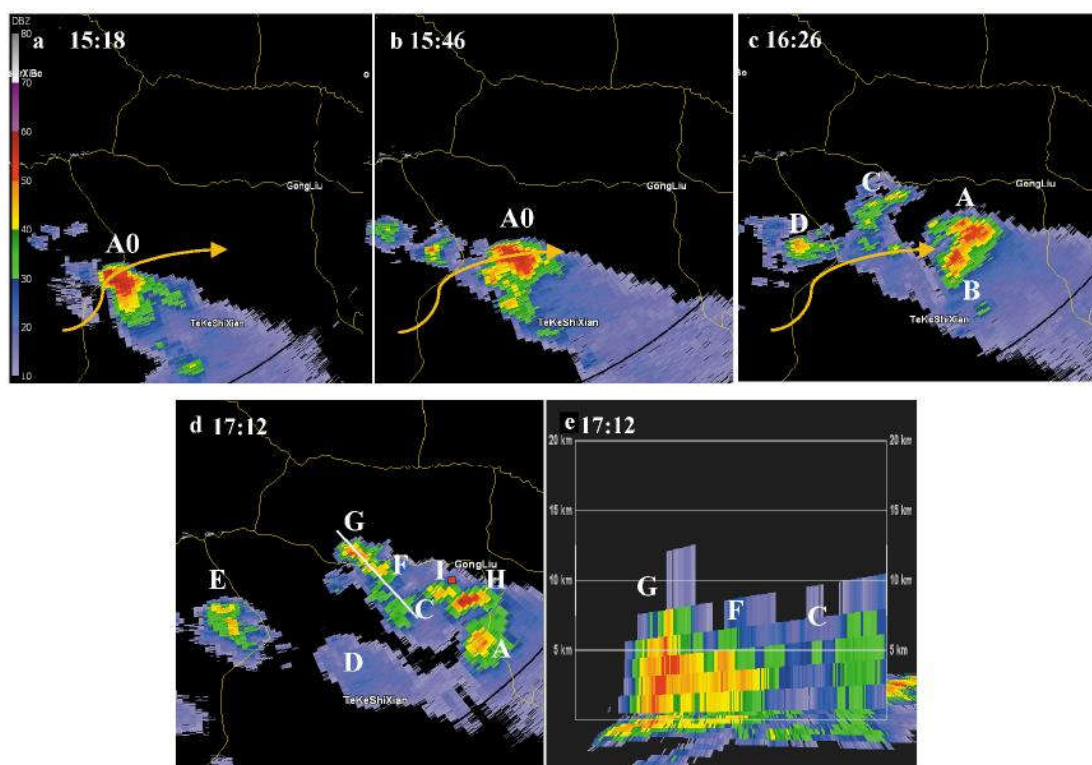


图 6 2.4°仰角反射率因子(a、b、c、d)及垂直剖面(e)

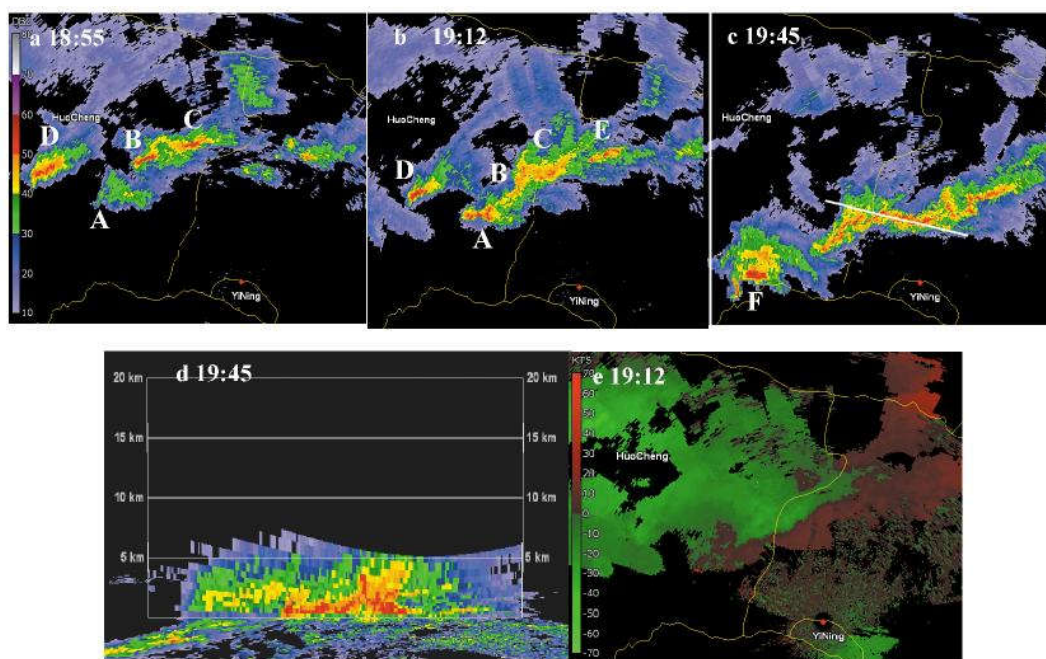


图7 2.4°仰角反射率因子(a、b、c)、垂直剖面(d)及径向速度(e)

4.4 超级单体风暴

2015年7月5日霍城县多个乡镇出现短时强降水和冰雹等强对流天气(图8),此次风暴几乎具有超级单体风暴的所有特征:反射率因子图上有典型的钩状回波、前侧入流缺口,垂直剖面上有悬垂结构和有界弱回波区、速度图上有中气旋。

16:42,霍城县西北边境线附近出现46 dBZ回波,此后回波向东南传播发展,并不断与其南部的弱回波合并,17:25最强回波超过50 dBZ(图8a),GR2软件提示冰雹预警。对流风暴继续加强,形态由块状回波发展为弓形回波,并在低层反射率因子图上出现典型的钩状回波和弱回波区WER(图8b),风暴已经出现超级单体风暴特征。17:47最大回波中心达到61 dBZ,回波顶高达9.5 km,50 dBZ的强回波顶高为4.8 km。在反射率因子垂直剖面图上可以看到回波悬垂、有界弱回波区BWER以及BWER左侧的回波墙(图8d),速度图上明显的正负速度对为气旋式辐合(图8e),指示着有中气旋存在,此时风暴已发展为成熟的超级单体风暴。随后反射率因子继续加强,最大至72 dBZ,50 dBZ强回波核心增高至5.8 km,17:58,50 dBZ强回波底高已由17:47的802 m降至0,说明强回波核开始接地,正在产生大降水或冰雹。18:16风暴组织结构变得松散,逐渐消亡,整个超级单体生命史约2 h。

在17:42后的4个体扫中,低层均有旁瓣回波(图8b),这是目标物回波强度特别强的表现,伊犁

河谷3次超级单体个例中,2次都出现过旁瓣回波。

5 结论与讨论

通过分析2010—2021年伊犁河谷地区152次冰雹的时空分布特征及32个雹云单体的雷达回波特征得出以下结论:

(1)5—8月是伊犁河谷冰雹高发期,其中6月出现冰雹最多,且冰雹云在6月发展最旺盛;16—19时是冰雹日变化高峰期,其中17时发生冰雹次数最多。

(2)冰雹云最强回波在49~72 dBZ,大部分冰雹最强回波都在50 dBZ以上;回波顶高在6.8~13.3 km,99%的雹云顶高都在8 km以上; VIL_{max} 值跨度大,为5.02~47.7 kg/m², VIL 的跃增对冰雹预警有较好的指示意义。反射率因子达50 dBZ,回波顶高超过8 km, VIL 出现明显跃增可作为伊犁河谷冰雹的预警指标。

(3)冰雹的空间分布与河谷喇叭口地形息息相关,南部沿山的昭苏县和特克斯县及北部沿山的霍城县、尼勒克县和霍尔果斯市是冰雹的多发地。昭苏县的冰雹占伊犁河谷地区冰雹总数的一半以上,它也是最常出现普通单体风暴和多单体风暴的地方,而线风暴和超级单体风暴多发在霍城县。伊犁河谷雹暴多为多单体,其次是普通单体,线风暴和超级单体出现较少,其平均回波强度由大到小依次是超级单体、线风暴、多单体、普通单体风暴。

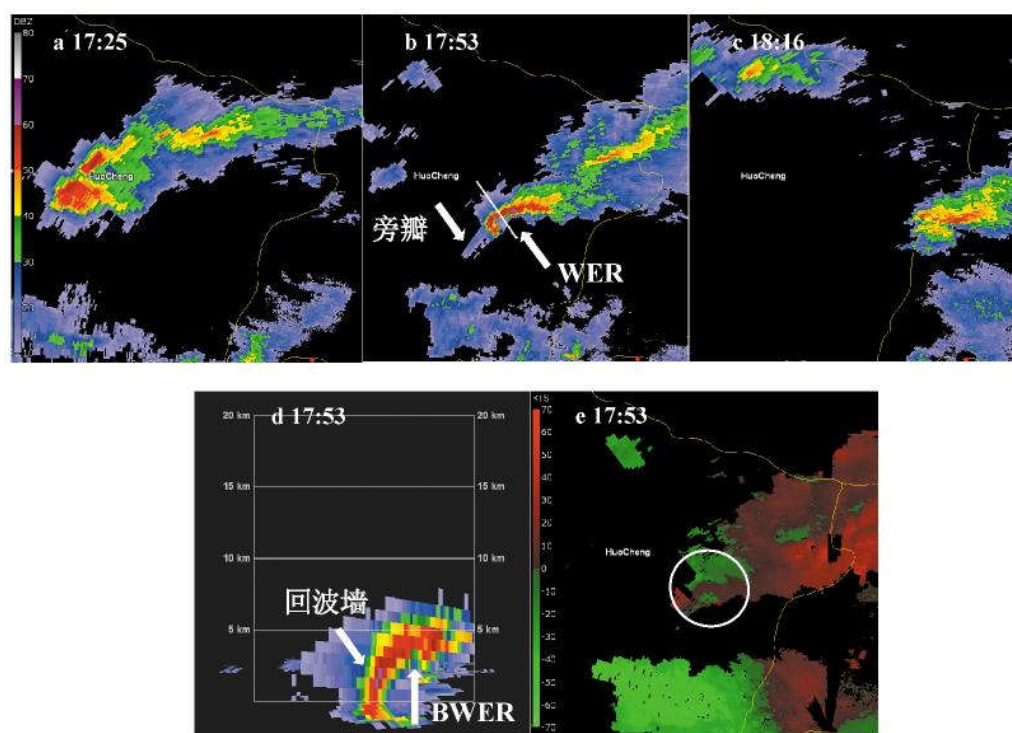


图 8 2.4°仰角反射率因子(a、b、c)、垂直剖面(d)及径向速度(e)

(4)普通单体反射率因子大值区在垂直方向上基本重叠,没有倾斜;多单体一般出现在较为有利的天气条件下,不断有单体在同一侧新生、增长、成熟、衰减,会对同一地区反复影响,且生命史较长;伊犁河谷已出现的线风暴组织性都较差,结构松散,回波顶高不高,低层常出现钩状回波;已出现的超级单体基本具备典型超级单体的雷达回波特征,但有些个例中气旋特征不显著。

伊犁河谷因其特殊地理地形,雹暴也具有其特殊性,在此观测到的超级单体风暴的回波顶高是4类雹暴中最低的,低层较大水平风速,对风暴在垂直方向的发展可能有抑制作用,这还需要更精细的探测资料来论证。本文所能收集到的降雹时间分辨率多为小时级或10 min级,对应5~6 min的雷达体扫时间过粗,雷达回波指标的时间精度有待进一步提高。

参考文献:

- [1] 郑育琳,刘艳,栾亚睿,等.南疆西部2次冰雹过程对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(6):1-9.
- [2] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2013.
- [3] 李斌,郑博华,朱思华.新疆重点雹区防雹作业效果检验评估[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(2):116-122.
- [4] 张晓茹,贾宏元,谭志强,等.夏南部山区两次冰雹过程对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(3):29-37.
- [5] 张芳,虎琚.青海省晏文农业区冰雹天气特征分析及预警指标研究[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(1):63-71.
- [6] 杨淑华,赵桂香,程海霞,等.脉冲风暴造成的山西北部三次冰雹天气对比分析[J].干旱气象,2019,37(1):67-75.
- [7] 陈鲍发,马中元.江西局地冰雹 WebGIS 雷达拼图回波特征分析[J].气象与环境科学,2019,42(2):104-114.
- [8] 陆飞,阮蔚琳,邓雯.2021年盛夏苏中南一次强冰雹过程大气环境与雷达回波特征[J].暴雨灾害,2022,41(2):167-173.
- [9] 刘君,肖秀珠,张维.福建西部近10年冰雹雷达资料统计分析[J].气象科技,2013,41(2):339-342.
- [10] 鲁德金,陈钟荣,袁野,等.安徽地区春夏季冰雹云雷达回波特征分析[J].气象,2015,41(9):1104-1110.
- [11] 樊志超,高继林,王治平,等.湘西北山区夏季冰雹云多普勒雷达定量判别指标[J].气象,2006,32(12):50-55.
- [12] 支竣,陈春艳,毛炜峰.新疆喀什西部新一代天气雷达产品的冰雹预警指标研究[J].冰川冻土,2014,36(1):95-105.
- [13] 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.
- [14] 彭成海,李金玉,努依也提.昭苏冰雹的气候特征分析[J].安徽农业科学,2008,32(49):14211-14213.
- [15] 隋玉秀,杨景泰,李昱茜,等.1971—2018年大连地区冰雹气候特征[J].干旱气象,2020,38(2):249-255.
- [16] 王秀玲,郭丽霞,高桂芹,等.唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析[J].气象,2012,38(3):344-348.

- [17] 俞小鼎,王秀明,李万莉,等.雷暴与强对流临近预报及雷达回波特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(1): 1-9.
[M].北京:气象出版社,2020.
- [18] 张俊兰,李伟,郑育琳.昆仑山北坡短时强降水天气分型

Hail Distribution and Radar Echo Characteristics in Ili River Valley

SUN Mingjing^{1,2}, LIU Junzhe³, CHEN Chunyan², SHI Junjie², ZHENG Yulin²

(1.Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

3.Meteorological Bureau of Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture, Korla 841000, China)

Abstract Based on the disaster reports, meteorological observation data and Doppler radar data from 2010 to 2021, the spatial and temporal distribution of hail and radar echo characteristics of hail cloud in Ili River Valley are analyzed. The results show that: (1) The high incidence period of hail is from May to August. The daily variation is almost from 16:00 to 19:00 (BJT), and the peak is at 17:00. (2) It is easy to occur on the sides of the valley. The hail in Zhaosu County accounts for more than half of the total hail in Ili River Valley, and most of them are ordinary and multi storms, while line storms and superstorms mostly occur in Huocheng County. (3) When the reflectivity is greater than 50 dBZ, the echo height is greater than 8 km, and the *VIL* jumps, the occurrence of hail should be warned. When the echo height develops more than 11 km, the probability of hail is high. (4) Most ordinary single storms are high hanging centroids; Multi-cell storms have a long life history and may repeatedly affect the same area; The line storm is poorly organized, with loose structure, and hook echo often appears in the lower layer; Super storms basically have all typical echo characteristics, but cyclones are not evident in some cases.

Key words hail; radar echo characteristics; convective storm; Ili River Valley