Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2022, 11(1), 109-123
Published Online January 2022 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2022.111012

近10年巴州地区春季高影响强降水天气分析

周雪英*，温　春，仇会民

巴州气象局，新疆 库尔勒

收稿日期：2021年12月26日；录用日期：2022年1月21日；发布日期：2022年1月28日

摘　要

2019年5月4~7日巴州地区发生了一次春季转折性、高影响强降水，受浅薄中亚低涡影响先后出现急流冷锋降水、干线触发的强对流降水、低涡气旋降水。强对流降水时段云团的初生位置与地面边界层内不同性质气团交汇点对应，北抬对流云团的冷外流边界触发对流云团再生和增强。强降水发生前巴州东南侧存在水汽补充输送、探空关键参数出现明显增减变量、雷达径向速度上中低层辐合增强。近10年巴州春季发生9场高影响、致灾强降水过程，影响系统包括中亚长波槽、中亚短波槽、中亚浅薄低涡，天气概念模型分为急流冷锋、低槽切变辐合、低涡气旋、急流锋区，急流类强降水的触发多与地面冷锋活动相关，切变、辐合气旋类强降水触发多与干气团水平和垂直方向侵入有关。

关键词

巴州地区，春季强降水，天气概念模型，降水触发

Recent Ten Years Analysis of Heavy Rainfall in Spring of Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture

Xueying Zhou*, Chun Wen, Huiming Qiu

Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture Meteorological Observatory, Korla Xinjiang

Received: Dec. 26th, 2021; accepted: Jan. 21st, 2022; published: Jan. 28th, 2022

*第一作者。

文章引用: 周雪英, 温春, 仇会民. 近 10 年巴州地区春季高影响强降水天气分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1): 109-123. DOI: 10.12677/ccrl.2022.111012

Abstract

A transitional and high impact heavy rainfall process happened in Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture of South Xinjiang from 4 to 7 on May 2019, which contained multiple configuration types of precipitation process with a succession of fast-flowing cold frontal precipitation, dry line-triggered heavy convective precipitation, and low-vortex cyclonic precipitation influenced by a shallow Central Asian low vortex. The initial location of cloud masses during periods of intense convective precipitation corresponds to the intersection of air masses of different nature within the ground boundary layer, and the cold outflow boundary of northward lifting convective cloud masses triggers the regeneration and intensification of convective cloud masses. The heavy precipitation was preceded by supplementary water vapour transport on the south-eastern side of Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture. Before the heavy precipitation, there is significant increase or decrease in key sounding parameters, and enhanced mid- and low-level convergence on radial velocities. In the past 10 years, nine high-impact, disaster-causing heavy precipitation processes occurred in spring. The influencing systems include the Central Asian long wave trough, the Central Asian shortwave trough, and the Central Asian shallow low vortex, and the weather concept models are divided into rapid cold fronts, low trough shear convergence, low vortex cyclones, and rapid frontal areas. The triggering of rapid-type heavy precipitation is mostly related to the cold front activity on the ground, and the triggering of shear and convergence cyclones is mostly related to the horizontal and vertical intrusion of dry air masses.

Keywords

Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture, Spring Heavy Rainfall, Weather Conceptual Model, Precipitation Trigger

1. 引言

巴音郭楞蒙古自治州(下简称巴州)位于南疆盆地的中东部，地形地貌极其复杂，春季干旱少雨，南疆东部若羌－库尔勒多东灌大风，南疆中西部阿克苏－轮台多翻山大风，北疆春季时常发生暴雨[1] [2] [3] [4] [5]。新疆暴雨往往是中高纬西风带及副热带环流多尺度系统相互作用产物，南压高压双体型、伊朗副高南北震荡、副热带西风急流、中亚低涡是主要天气系统[6] [7] [8]；中亚低涡造成新疆夏季降水比例为 57%，春季为 18% [9]；南疆春季 5 月浅薄型中亚干涡出现概率为 77%，与深厚中亚低涡存在显著差异[10]，新疆春季降水偏多与低纬和高纬水汽异常输送至中纬汇合相关，而南疆盆地强降水与新疆低空偏东急流水汽输送更密切，南疆中东部暴雨水汽输送包括西方、东方、南方和北方 4 条路径，水汽呈东西向和南北向辐合[11] [12] [13]，而春季强降水发生前期水汽输送往往不明显，仅在强降水临近前低层才出现水汽增强输送[14]。2019 年 5 月巴州地区发生的一次非典型中亚低涡引发的强降水天气过程实属少见。

大尺度斜压和干冷空气入侵对强降水发生有增强作用，中小尺度系统是强降水始作俑者，中尺度对流单体是直接表现，南疆短时强降水多由弓形回波下的 β——中尺度对流风暴造成，强对流发生在与低层切变、辐合线配合较好并形成生命史较短的 α——中尺度涡旋期间[15] [16] [17]。近年来南疆中部巴州

春夏季受短波槽影响，在复杂下垫面上易出现多股气流快速汇合造成的短时强降水、冰雹等强对流，对流暴雨往往是多个中尺度对流云团合并加强造成，水汽总是从两个或三个方向急剧向巴州北部辐合、汇集、抬升，对流触发机制分三大类，春季 5 月多见混合类[18] [19] [20] [21]。强对流风暴的出流边界与地面辐合线的叠加致使对流形成和维持，局地对流易在地面中尺度低压中心和温度梯度最大处触发，层状云和对流云降水产生冷池出流形成的中尺度温度梯度可进一步触发对流[22] [23]。新疆地域广阔不同季节不同地区降水天气具有明显地域特色，近年来随着西北呈暖湿化演变，南疆盆地中东部春季降水明显增多，春季频繁出现不同天气系统造成的强降水过程，并伴有雷雨大风、冰雹、短时强降水等致灾强对流，常造成严重损失。因此本文应用多源观测资料，综合分析巴州地区 2019 年 5 月 4~7 日强降水过程，重点诊断了浅薄型中亚低涡形成、强降水时段天气概念模型、中尺度对流降水云团初生、对流降水的触发和演变的精细特征，同时总结近 10 年来巴州地区发生的春季高影响致灾强降水天气特征，为进一步做好南疆中部干旱区春季强降水预报预警服务提供技术支撑。

2. 降水实况特征及灾情

2019 年 5 月 4~7 日巴州出现春季首场强降水，184 站小雨，132 站超过 10 mm，86 站超过 24 mm，26 站累计雨量超过 48.1 mm，强降雨集中在巴州北部，和静热乎沟、焉耆霍拉山村、库尔勒北山麻扎热木沟雨量在 61.7~68.2 mm。此次降水影响范围广、持续时间长、局地累计雨量大，造成城市道路积水和沿山局地山体滑坡等灾害，对当地农业生产和居民生活造成严重影响。

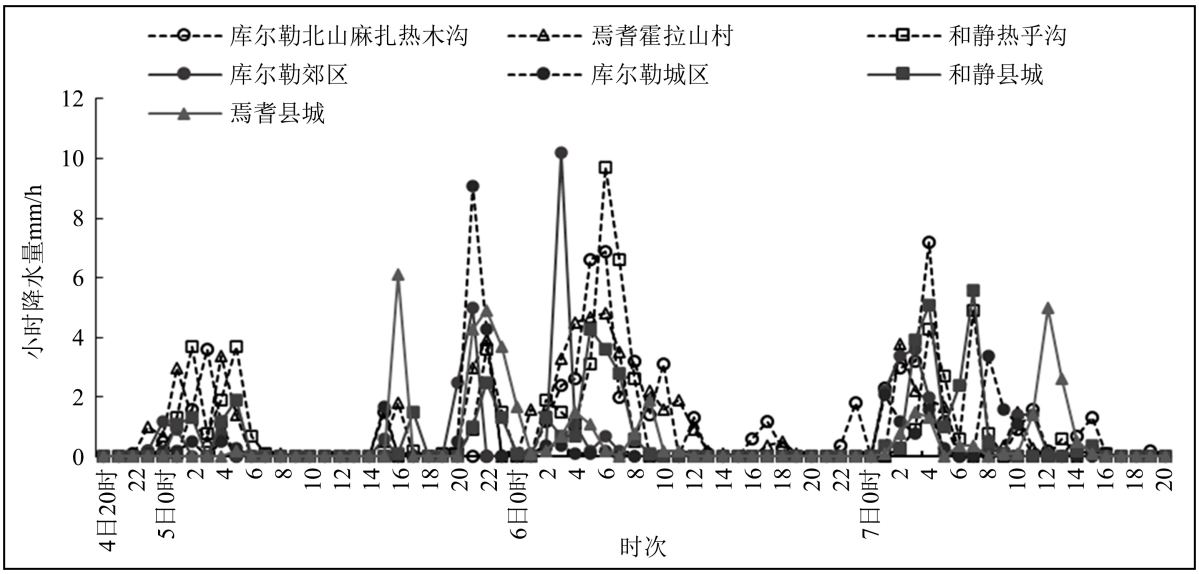

Figure 1. Heavy precipitation center of hourly rainfall changes and main precipitation period from May 5~7, 2019
图 1. 2019 年 5 月 5~7 日强降水中心逐小时降雨量变化和主力降水时段图

分析此次强降雨中心 4 日夜间至 7 日白天逐时降雨量(图 1)：降雨过程包含三次主力时段均在夜间，第一时段在 4 日后半夜(后称作 A 时段)，北部山区、焉耆盆地出现中到大雨；第二时段在 5 日午后至夜间(后称作 B 时段)，库尔勒、尉犁、轮台、焉耆盆地出现暴雨，轮台草湖乡和尉犁喀尔曲尕乡出现冰雹，有 70 站小时雨强大于 5 mm 以上，最大小时雨强为 10.2 mm/h 在库尔勒郊区，易引发山洪和地质灾害；第三时段在 6 日后半夜至 7 日上午(后称作 C 时段)，轮台、库尔勒－和静沿山出现暴雨。此次降水过程影响时间长、天气种类复杂多变、预报难度大、预警任务重。

3. 大尺度环流背景

中亚干旱区南疆盆地主要受西风环流的控制，该地区存在与季风区气候变化显著不同的模态，即“西风模态”，巴州地区的降水天气形成与副热带西风急流季节性南北震荡对应关系较好。分析图 2 可知：30˚N 附近副热带西风急流表现活跃，4 日 08 时已北抬至 40˚N 附近，新疆中东部地区位于西南急流入口区，从 200 hPa 西风急流 4~7 日演变可知：此次高空急流移动方向呈西退北抬与日常东移北抬明显不同，说明此次降水高层系统受到中国东部季风区的影响，4~6 日随着北支极锋急流不断增强东移南下，致使巴州北部正好处于副热带西风急流西南暖湿气流输送的脊的顶端与极锋急流北风携带冷空气到达末端的交汇处。

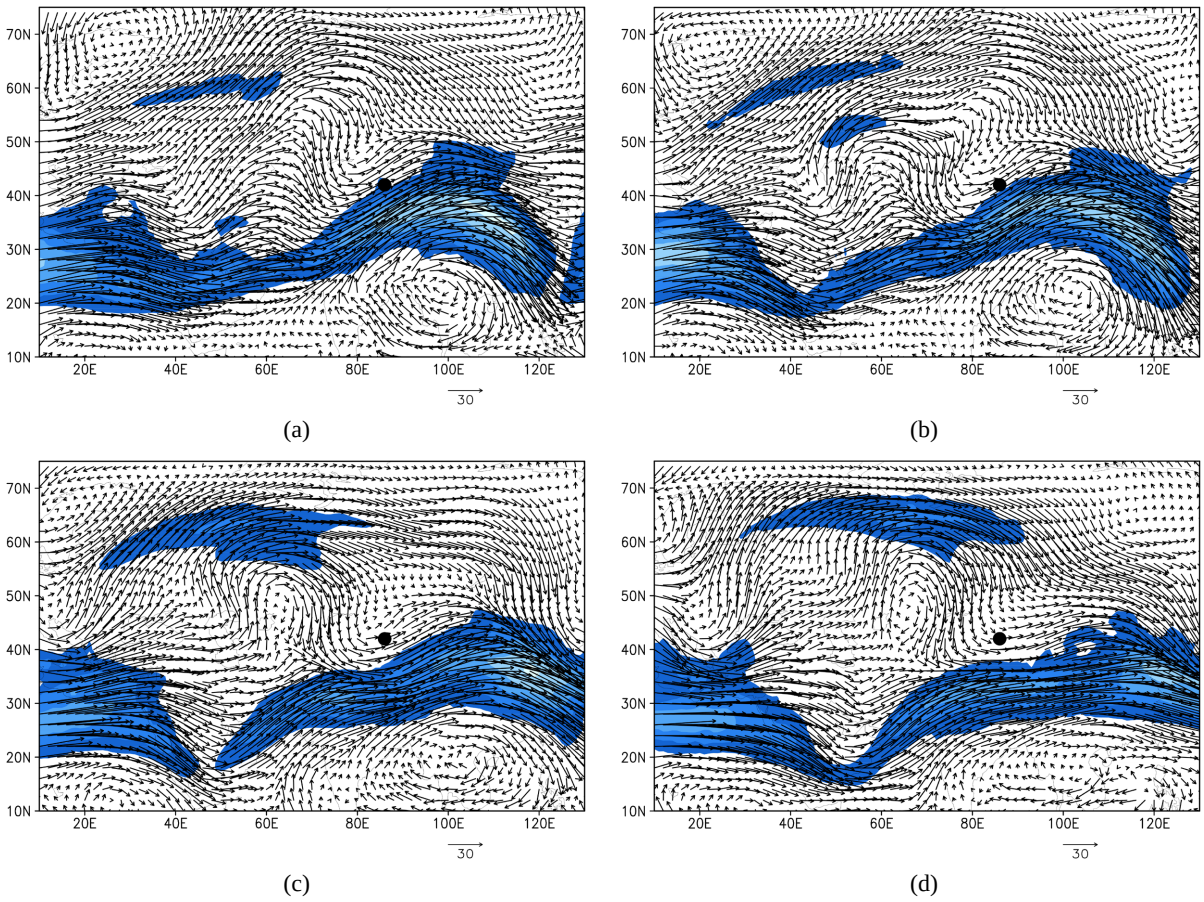

Figure 2. Evolution of the 200 hPa flow field at 08:00 on May 4~7, 2019 4 (a), 5 (b), 6 (c), 7 (d). Black solid indicates Korla, the capital of Bazhou (same below)

图 2. 2019 年 5 月 4 日(a)、5 日(b)、6 日(c)、7 日(d) 08 时 200 hPa 流场演变图。黑色实心表示巴州首府库尔勒(下同)

从图 3 可知：4 日 08 时中亚南部至乌拉尔山一带高压不断向东北伸展，致使在巴尔喀什湖附近的低槽切涡，形成中亚偏南低涡，中心强度 560 dagpm，并配合−28℃的冷涡中心；5 日 08 时低涡南伸进入南疆盆地，低涡中心强度减弱至 574 dagpm，冷涡中心温度升至−26℃，巴州北部受低涡外围槽前西南气流影响，低涡不断东南移动；6 日 08 时低涡中心减弱至 580 dagpm 且南伸到 40˚N 以南，冷涡中心温度进一步上升至−22℃，此时低压中心只能分析出 1 条闭合等高线，巴州北部处于低涡外围浅脊控制；7 日 08 时低涡中心进一步减弱东移，−22℃的冷中心分裂，南疆盆地仍存在弱的闭合气旋环流并配合冷中心，同

时 700 hPa 存在气旋式风场。张家宝指出中亚低涡是自对流层上部向下延伸的中期时间尺度(4 d 以上)的深厚切断低压系统，张云惠等[24]则定义中亚低涡为 500 hPa 高度场低压中心至少能分析出 2 条以上闭合等高线(80 gpm)，并有冷中心或明显冷槽配合，且低涡至少维持 2 d 以上。此次造成巴州地区长时间、间断性降水过程的中亚南涡在低压中心强度和持续时间上都不能达到上述标准，但与秦贺[25]等人研究的塔什干低涡的部分特征相似，属于浅薄型的中亚低涡。

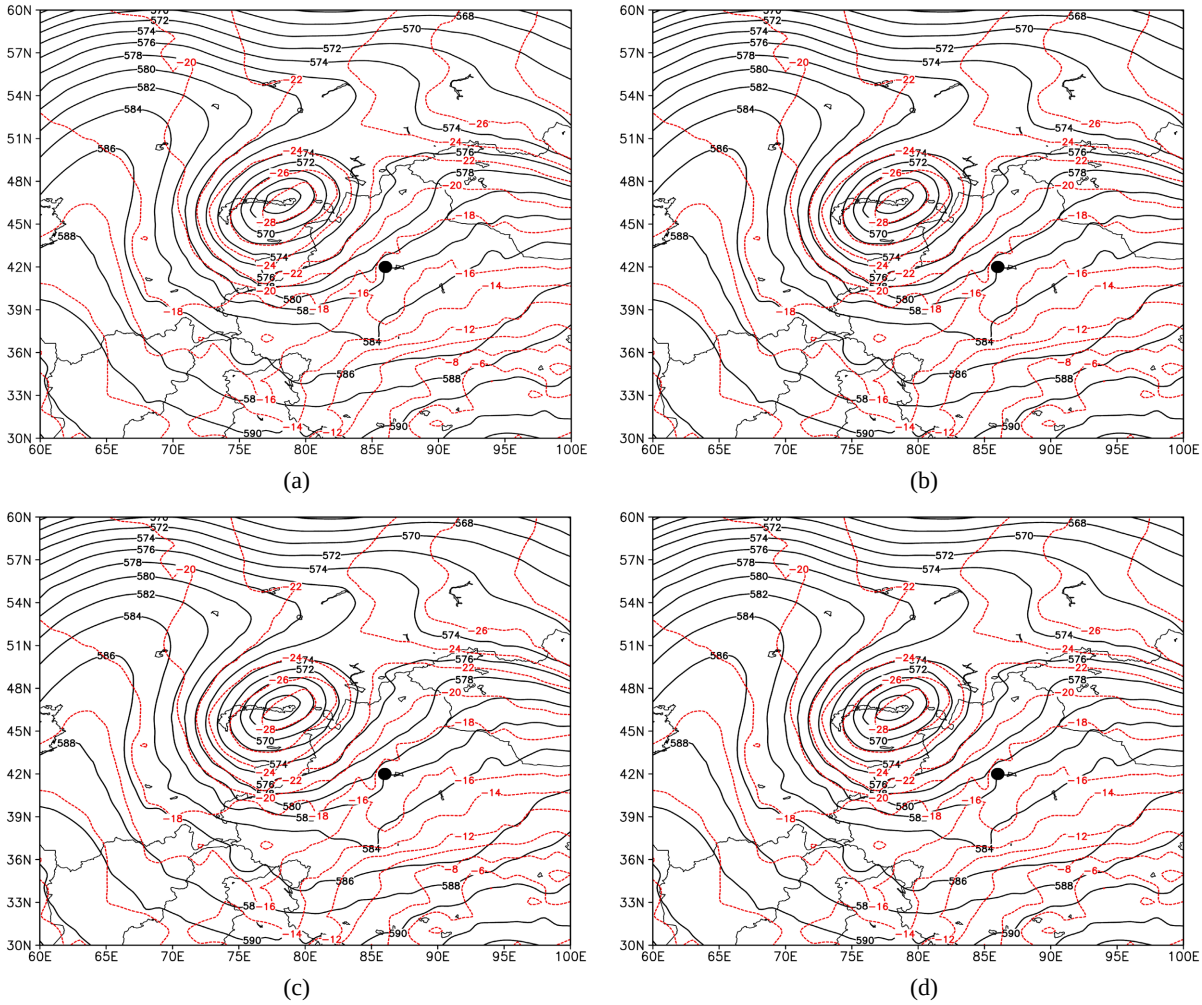

Figure 3. Evolution of daily geopotential height and temperature at 500 hPa on May 4~7, 2019 4 (a), 5 (b), 6 (c), d 7 (d) (The solid black line indicates the height (dagpm), red dotted line indicates temperature (˚C))

图 3. 2019 年 5 月 4 日(a)、5 日(b)、6 日(c)、7 日(d) 08 时 500 hPa 逐日位势高度和温度演变图。黑色实线表示高度(dagpm)，红色虚线表示温度(℃)

4. 中尺度高低空配置与对流潜势预报

对图 4 分析可知：A 时段 200 hPa 副热带西风急流轴西退北抬至南疆盆地中东部，500 hPa 中亚低涡东侧偏南气流在东天山一带增强为西南急流，700 hPa 偏北急流大范围翻越天山进入南疆盆地，850 hPa 上巴州西北侧为偏北急流、东南侧为西南和东南急流、青藏高原至东疆出现 6 g/kg 的比湿舌向东天山输送水汽，地面冷锋也到达东疆，此时呈现典型急流冷锋降水，新疆降水范围大，巴州北部强降水落区位于北部山区偏东与副热带西风急流入口区左侧、与 850 hPa 湿舌顶部及偏南风风速辐合区顶端对应。B

时段由于 A 时段已出现系统性降水，巴州东北侧近地层水汽充沛，500 hPa 上巴州北部受弱的东南气流控制；700 hPa 上巴州南侧为西南急流、东侧为东南急流、北侧为偏北气流存在多股气流在巴州北部交汇，850 hPa 上巴州北部东南侧为东南急流、西北侧为偏北气流存在明显风向辐合；中低层不同性质的气团从两个或三个方向快速向巴州北部汇集；从气团的干湿属性可知巴州北部西南侧水平方向上存在明显干空气侵入，形成西南东北向干线触发了中尺度对流性降水，致使库尔勒地区周边 5 日傍晚前后出现小时雨量大、局地性强的短时强降水。巴州平原北部对流天气只有在高空弱冷空气翻越天山与低空不同性质气团的汇合才能形成，这也进一步说明 A 时段有大范围冷空气翻越天山时不利于巴州平原北部对流天气形成和发展。C 时段由于 B 时段强降水造成巴州北部近地面显著增湿，6 日白天随着低涡减弱东移，巴州北部受浅脊控制，降水出现间歇，但 700 hPa 在盆地中部存在弱的气旋式风场、同时在水平方向巴州东侧为偏东风风速辐合区，850 hPa 上库车至巴州北部为偏南风风速辐合区，在垂直方向上高空不断有干冷空气下传与近地层暖湿空气交汇，致使局地锋生触发对流天气，此时强降水落区基本位于 700 hPa 气旋式风场偏暖侧与低层风速辐合区的叠置区中，降水类型呈现为明显的系统性降水夹杂对流性降水的混合性降水。

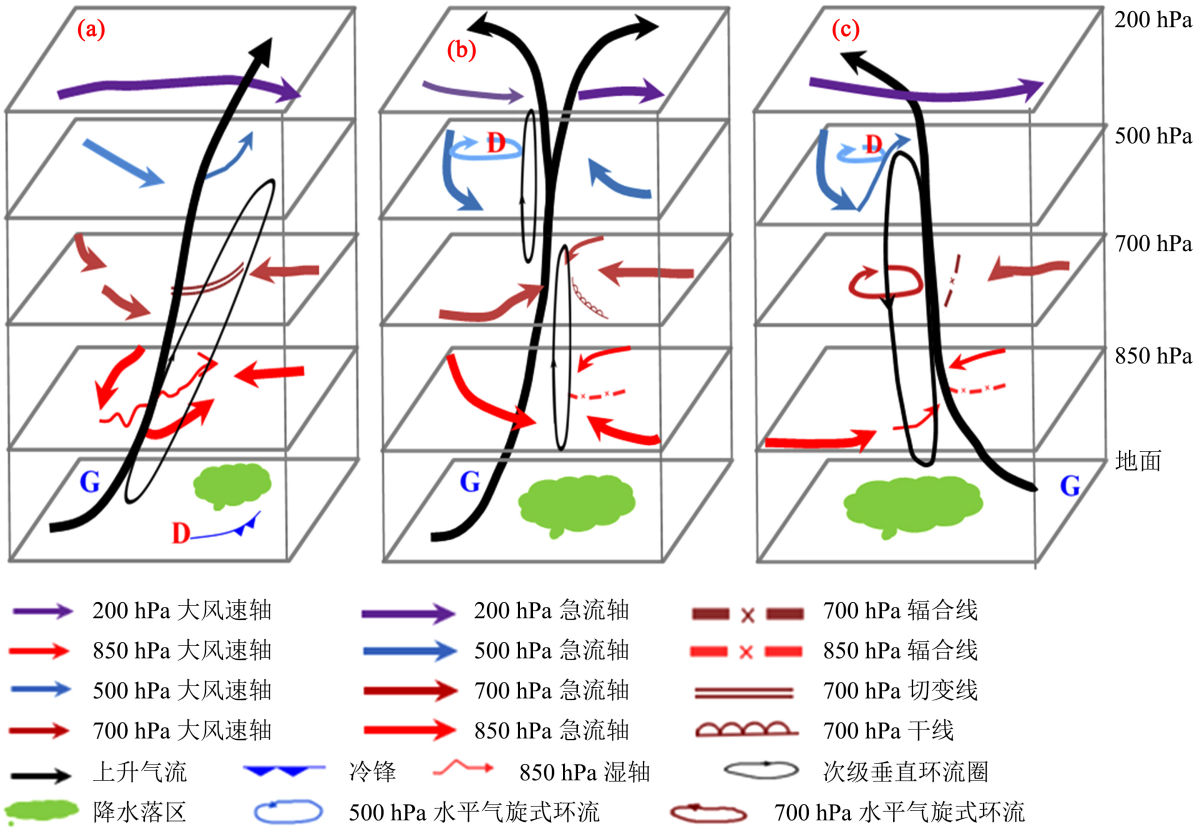

Figure 4. Analysis of high and low air-scale configuration of the heavy precipitation process in northern Bavaria from May 4~6, 2019 (a) 20:00 4 May, (b) 20:00 5 May, (c) 20:00 6 May

图 4. 2019 年 5 月 4~6 日巴州北部强降水过程高低空中尺度配置流型示意图。(a) 4 日 20:00，(b) 5 日 20:00，(c) 6 日 20:00

从表 1 可知：表征层结稳定类的探空参数 $T_{500\sim850}$ 和 Tg 对流温度随着时间变化降低，$T_{500\sim850}$ 在 28℃~34℃、Si > 0，说明存在热力对流不稳定；700 hPa 比湿存在增大－减小－增大变化，$T\text{-}T_d$ 先干后湿，

整层比湿积分在 834.7~1681.2 g/Kg，说明空气中的绝对水汽含量较高；0℃层在 3 km 左右，−20℃层高度在 5~6 km，0℃和−20℃层高度适宜，有利于冰雹发生，其中 5 日 08 时 TQG 通气管指数在 1139.4 $m^2 \cdot s^{-2}$，表征出强的垂直风切变，出现有利于强对流发展的组织条件，5 日午后尉犁局地出现冰雹。能量类参数表现不好，一般夏季对流有效位能反映较好是春季的 4~5 倍，以短时强降水为主的对流天气有效位能没有冰雹、雷雨大风表现突出[26]。不同类型降水天气发生前后探空物理量存在明显变化，A 时段库尔勒地区温度层结趋于不稳定 $T_{500\sim850}$ 增大，中低层水汽变差，K 指数、700 hPa 比湿减小、700 $hPa_{T\text{-}Td}$ 增大，天气组织能力不断增强，TQG 通气管指数最大，表明 5 日白天开始库尔勒周边有利于强对流风暴组织发生的垂直风切变条件开始增强；B 时段 K 指数增加 21℃、A 指数增加 6℃、700 hPa 比湿增加 3.49 g/Kg、整层比湿积分增加 849.5 g/Kg 翻了一倍，表征动力条件的抬升指数和风暴相对螺旋度也翻倍增加，表征对流天气垂直风切变组织特征的通气管指数却明显降低、这与对流天气类型以短时强降水发生形成要求弱的垂直风切变正好相对应，研究表明[27]库尔勒发生冰雹天气时库尔勒通气管指数一般大于 1500 $m^2 \cdot s^{-2}$。

Table 1. Statistical characteristics of commonly used sounding physical quantities in short-term heavy precipitation in Korla from May 4~6, 2019

表 1. 2019 年 5 月 4~6 日库尔勒地区短时强降水常用探空物理量参数统计特征

	时间						
	探空物理量	4 日 08:00	4 日 20:00	5 日 08:00	5 日 20:00	6 日 08:00	6 日 20:00
层结稳定类参数	K 指数/℃	28	22	7	28	29	28
	Si 沙氏指数/	1.46	0.99	1.21	3.68	2.39	1.68
	A 指数/℃	9	17	9	15	6	1
	$T_{500\sim850}$/℃	34	30	34	28	28	29
	Tg 对流温度/℃	24.8	22.6	22.4	17.4	10	17.5
大气温湿类参数	IQ 整层比湿积分/$g \cdot Kg^{-1}$	1463.2	1424.1	834.7	1681.2	1558.5	1512.3
	q_{700}/g/Kg	4.24	2.31	0.75	4.24	4.24	3.9
	$(T\text{-}Td)_{700}$/℃	4	11	23	2	1	3
	TQG 通气管指数/$m^2 \cdot s^{-2}$	652	841	1139.4	301	220.7	202.1
	LI 抬升指数/℃	2.61	0.51	0.9	3.1	0.63	1.95
特殊高度层、能量类参数	抬升凝结高度/hPa	735.8	750.2	845.4	788	918	838
	0℃层高度/m	3216.111	3235	3208.636	2866.923	2834.545	2976.364
	20℃层高度/m	6107.5	6110	5581.364	6088.461	5825	5834.615
	CAPE 对流抑制有效位能/$J \cdot kg^{-1}$	0	0	0	0	86.3	40.9
	湿对流有效位能/$J \cdot kg^{-1}$	0	91.2	0	0	11.9	516.3

5. 卫星云图、雷达特征

从图 5 可知：5 日 11 时在塔克拉玛干沙漠腹地塔中西北侧出现两个新生对流云团 A 和 B，正好位于轮台－库尔勒－尉犁南下的湿冷偏北风风速辐合顶端与和田，且末北抬干暖的偏南风风速辐合顶端的交汇区域，进一步说明近地面不同性质多股空气汇合触发了对流云团初生。A 和 B 东移北抬增强，A 强于 B，A 移至尉犁和库尔勒交接处时在雷达上监测到多个强对流单体，并呈现出冰雹回波特征。14 时 B 造成位于云团后部暖脊东南风顶端一侧出现小时雨强 5 mm 的短时强降水，A 和 B 在尉犁东西两侧形成两个冷中心，15 时 A 和 B 合并东移北抬，致使尉犁局地出现冰雹，同时地面两个冷中心合并增强。16 时 A 和 B 合并成复合云团 C 不断东移，C 外围底部持续降雨，致使库尔勒东北侧冷槽明显，此时盆地中部暖区进一步扩大，东北伸展的暖脊增强发展，造成巴州的中部地区有三股不同方向、性质的气团汇合，其北侧为湿冷空气沿东北气流南下，东侧为干冷空气沿东南风东灌进入，西侧为干暖偏西风西移，几股不同性质气团在巴州中部再次剧烈交汇，致使新一轮对流云团 D 和 E 形成，在 C 外围东南侧不断有新生对流云团，这些对流单体的形成与复合云团 C 的冷外流边界密切相关。18 时 D 和 E 合并增强形成两个连接在一起的心形对流复合云团 F，尺度大约在 200 km 左右，F 南侧中间有倒 V 型的缺口，此刻 D 又造成尉犁县喀尔曲尕乡出现冰雹；从地面露点温度和风场可知 F 东侧近地面存在大范围水汽沿东南风进入云团覆盖区，表征未来 F 东移北抬发展增强的过程中会得到近地层水汽补充。20 时西南侧干暖空气在倒 V 型的缺口处不断侵入 F，致使 F 左侧 D 不断向东北方向发展和壮大，同时 E 逐步发展成呈南北排列的多单体线状云团，F 变形成类似逗点云系的对流云团；21~22 时 E 缓慢移动，D 与 E 顶部在库尔勒沿山一带合并增强，致使库尔勒周边出现 4 站次接近 10 mm 的短时强降水。

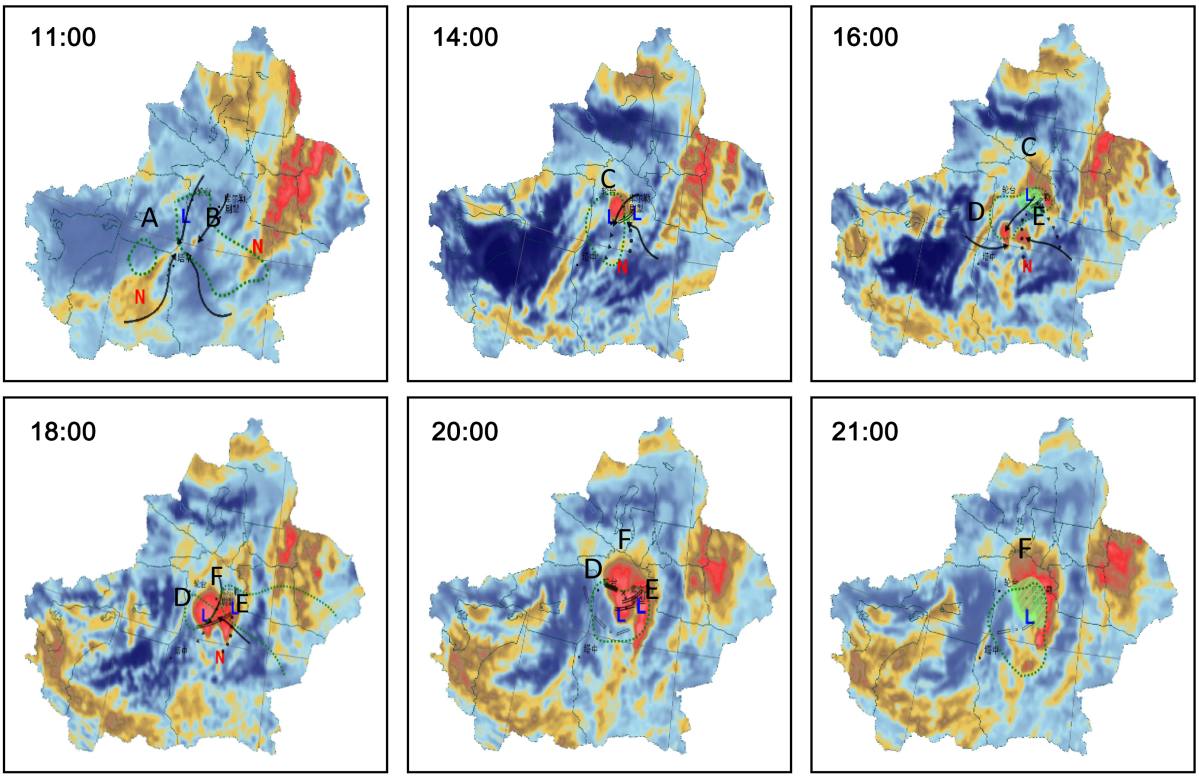

Figure 5. Comprehensive analysis of the FY 2G infrared satellite cloud image and the corresponding ground encryption automatic station at 11~22 on May 5, 2019

图 5. 2019 年 5 月 5 日 11~22 时风云 2G 红外卫星云图和对应时刻地面加密自动站综合分析图

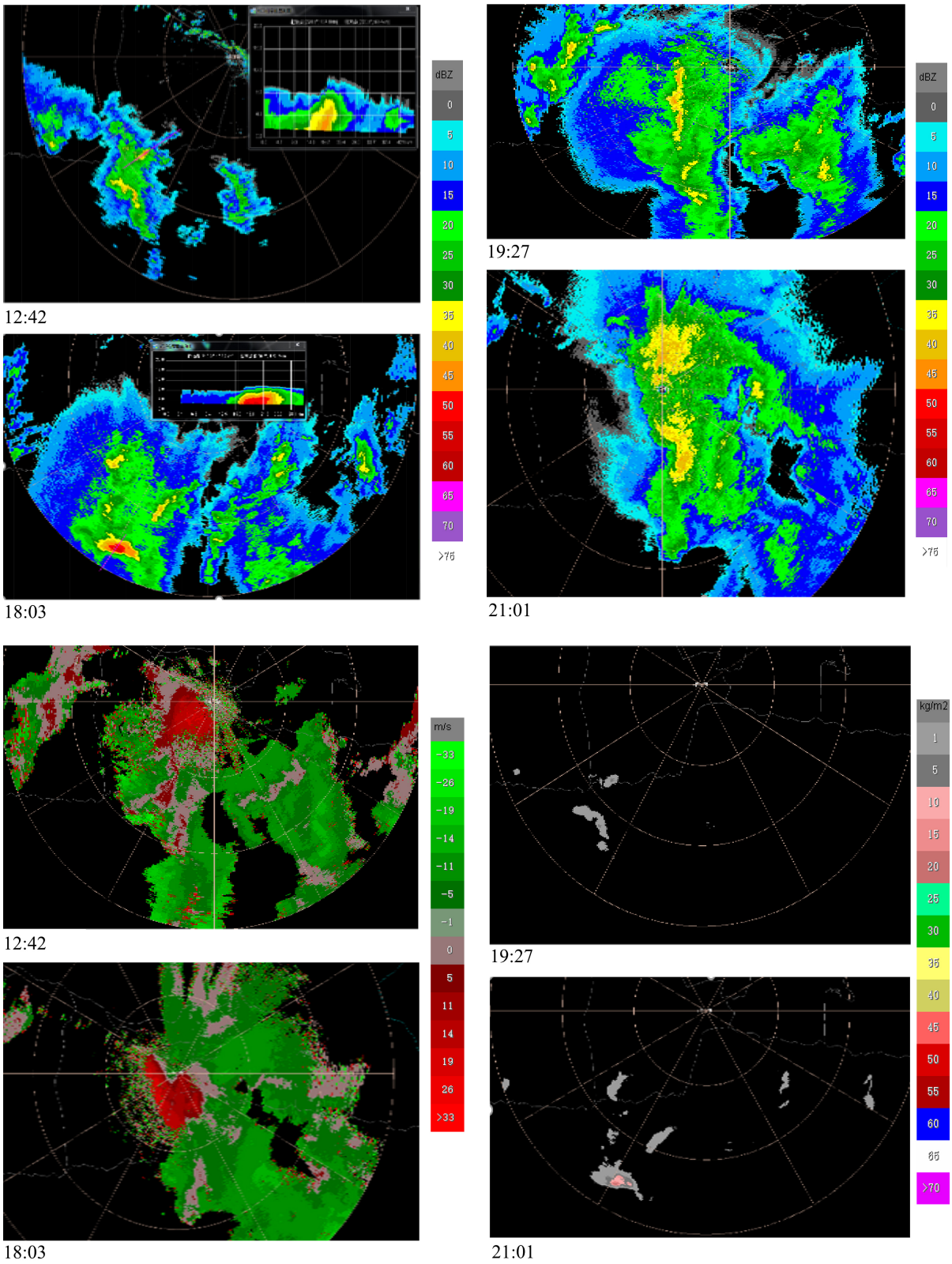

Figure 6. Combined reflectance factor, radial velocity, and cumulative liquid water content of the Hale and short-time heavy precipitation radar at 12~21 on 5 May 2019

图 6. 2019 年 5 月 5 日 12~21 时库尔勒雷达发生冰雹和短时强降水雷达组合反射率因子、径向速度、累积液态水含量图

从图 6 可知：午后开始块状的对流性降水回波发展与云图对应较好，存在两次典型强回波的生消发展。12 时 42 分在尉犁与库尔勒交界一带第一次形成范围较小冰雹回波，最大回波强度 50 dBZ、云顶高度 9 km、>40 dBZ 强回波伸展高度接近 7 km、垂直累积液态水含量 VIL 最大达 8 kg·m^{-2}，此时当地乡镇气象信息员报告地面出现类似冰粒的小冰雹。第二次又在尉犁更偏南地区发展范围较大的冰雹回波，18 时 03 分>50 dBZ 强回波面积接近 15 km^2，强回波维持大约 50 分钟，云顶高度 10 km，>45 dBZ 强回波伸展高度接近 8 km，垂直累积液态水含量 VIL 最大达 24 kg·m^{-2}，强回波中心大部分高度在 4 km 左右，表现为低质心强降水回波特征，由于地面自动观测资料稀疏，仅从乡镇气象信息员报告中得知当地出现明显强降雨和短时冰雹。19 时 27 分在尉犁南北方向上形成一字型排列的带状回波，20 时前后一字型回波头部>40 dBZ 强回波接近库尔勒沿山一带，21 时前后在库尔勒至焉耆交界沿山一带>40 dBZ 强回波又转变成块状，形成典型包含层状云和积状云的以积状云为主的块絮状回波，既有层状云回波造成的小雨，又有块絮状回波造成的短时强降水。

从图 7 可知：17 时 08 分径向速度图上出现逆风区，负速度面积大、强度较强，中心最大值−23 m/s，呈现强的风向辐合。17 时 58 分在冰雹回波两侧出现两个强的负速度中心，形成东西两侧正负速度的共轭的共同体，致使>50 dBZ 强回波中心长时间维持。19 时 21 分库尔勒西南侧至雷达站附近出现西南东北向正负速度对，负速度中心值在−24 m·s^{-1}，正速度中心值在 18 m·s^{-1}，表明库尔勒周边中低层存在强的风场辐合，>45 dBZ 强回波在靠近正速度附近区域不断发展、增强。

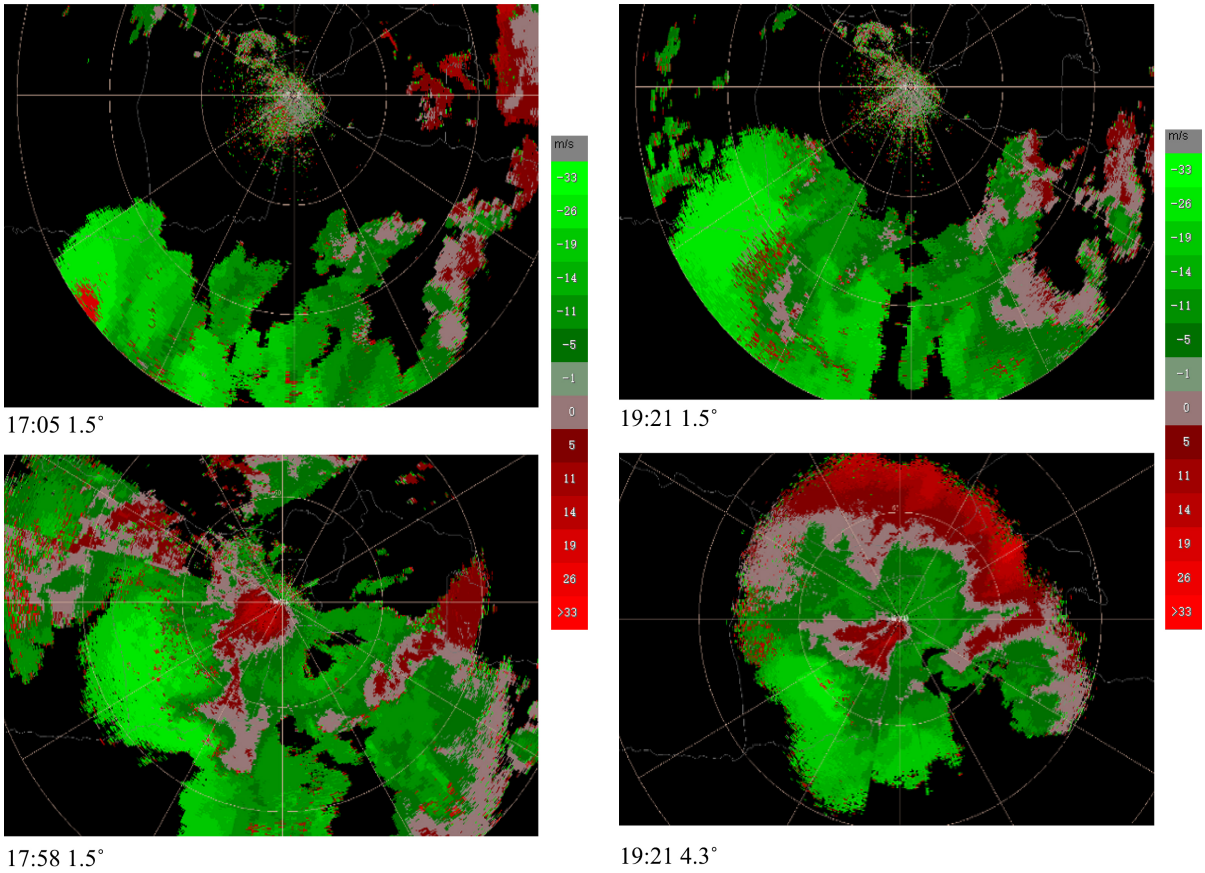

Figure 7. Radial velocity distributions at different elevation angles before the occurrence of hail and short-term heavy precipitation on the Korla radar on May 5, 2019

图 7. 2019 年 5 月 5 日库尔勒雷达发生冰雹和短时强降水前不同仰角径向速度分布图

Table 2. Weather characteristics of high-influence and heavy precipitation in the spring of 2010~2019 in Bazhou
表 2. 2010~2019 年巴州地区春季高影响强降水天气特征

降水事件日期	天气种类	降水类型	降水开始时间	降水持续时间(h)	小时最大雨强(mm/h)	影响系统	天气概念模型	天气影响
20100419	大雨、霜冻	系统降水	傍晚	12 h	3.6 mm/h	中亚长波槽槽前锋区	急流冷锋	大雨和霜冻造成作物烂种、土壤碱害、幼苗受冻
20100515	强降温、雨转雨夹雪、霜冻	系统降水	傍晚	24 h	2.1 mm/h	中亚长波槽槽前锋区	急流锋区	强降温致使山区牲畜冻死、农作物幼苗受冻
20130418	大雨、雷电、短时强降水、冰雹、霜冻	系统降水 + 对流降水	前半夜 + 午后	12 h + 5 h	7 mm/h	中亚长波槽槽底纬向锋区	急流冷锋、低槽切变辐合	冰雹致使白杏、香梨严重落果，霜冻造成幼苗受冻
20150417	暴雨、冰雹、雷电、短时强降水	系统降水 + 对流降水	后半夜 + 午后	12 h + 4 h	15.3 mm/h	中亚短波槽	低槽切变辐合	暴雨造成棉田被淹，冰雹致使香梨、棉花受灾惨重
20150519	雷电、暴雨、大暴雨	混合性系统降水	后半夜	15 h	11.5 mm/h	中亚短波槽	低槽切变辐合	暴雨造成北部沿山山区道路冲毁、中断
20160531	雷电、冰雹、短时强降水	系统降水 + 对流降水	前半夜 + 午后	12 h + 3 h	14.5 mm/h	中亚短波槽	低槽切变辐合	冰雹造成库尔勒香梨、棉花受灾严重
20170414	雷电、大雨、短时强降水	混合性系统降水	后半夜	14 h	9.3 mm/h	中亚短波槽	急流锋区、低槽切变辐合	强降雨造成作物烂种、土壤土壤碱害
20170502	雷电、冰雹、阵雨	系统系统降水 + 对流降水	傍晚 + 午后	20 h + 3 h	6 mm/h	中亚长波槽槽底纬向锋区	急流冷锋、低槽切变辐合	冰雹致使棉花幼苗被打死
20190505	暴雨、冰雹、雷电、短时强降水	系统降水 + 对流降水	前半夜 + 午后	8 h + 5 h	10.2 mm/h	浅薄中亚低涡	急流冷锋、低槽切变辐合、低涡气旋	短时强降水致使城区积水和局地山洪、冰雹造成农作物受灾

两次中尺度对流云团的新生与地面边界层不同性质气团辐合、汇集密切联系，近地面边界层辐合线触发中尺度对流系统。对流云团再生、增强与冷外流边界有关，临近时刻地面露点温度可有效判断水汽补充与输送。从雷达回波形态以及雷达产品特征值以及基层乡镇气象信息员关于天气实况的反馈可以有效判断发生的中尺度对流天气对流类型以及影响的区域，一般冰雹回波多为块状单体、强回波中心>50 dBZ、且伸展高度较高、累积液态水含量存在激增演变，而短时强降水回波多为絮状的混合型降水回波，强回波中心最大 50 dBz、强回波多为低质心特征、累积液态水含量变化不明显。因此日常必须加强基于多源观测资料对强对流天气的实时监测和分析，在南疆中部探测网站比较稀疏地区，加强气象信息员互动反馈，能有效提供数据支撑强对流天气定性的直接证据。

6. 巴州春季强降水天气特征

6.1. 春季强降水天气特点

为有效提高巴州春季强降水预报、预警能力，统计和分析 2010 年以来春季强降水(见表 2)，共计发生 9 次高影响、致灾强降水过程，4 月中旬 4 次，5 月上旬 2 次、中旬 2 次、下旬 1 次，强降水过程中常伴有大雨、暴雨、大暴雨、雨转雪、雷雨大风、冰雹、短时强降水、霜冻、强降温等多种天气现象，不同过程天气现象不尽相同。春季致灾强降水过程可分为系统性降水过程、系统性叠加对流性降水过程、混合性系统降水过程，春季系统性降水一般开始时间都在傍晚至夜间、持续时间较长、小时雨强小、有时降温明显伴有霜冻，混合性系统降水过程一般持续时间长、小时雨强较大，系统性叠加对流性降水过程中对流降水一般发生在系统性降水结束后第二天的午后、降水持续时间短、小时雨强大、伴有雷雨大风、冰雹、短时强降水，此类天气是近年来巴州春季典型致灾天气类型，中尺度对流单体强烈发展形成的冰雹，往往对农作物和林果造成毁灭性打击。

6.2. 影响系统及天气尺度概念模型配置特征

近年来巴州春季强降水的主要影响系统是中亚低值系统，但天气系统的配置细节千差万别，九次降水过程中影响系统细分包括三大类，中亚长波槽、中亚短波槽、中亚浅薄低涡。中亚长波槽：中亚至新疆存在明显的低值系统活动，环流经向度不是很大，南疆盆地处于低槽槽前或槽底受西南或西风气流控制，温度场上锋区特征明显，巴州处于密度不同的两个气团之间的过渡区中，温度差异特别大，有时温度场落后高度场；包括槽前锋区和槽底纬向锋区两类，在春季造成往往降温明显、大范围的系统性降水，有时天气转晴后午后局地易发生强对流天气，例如 2013 年 4 月 18 日和 2017 年 5 月 2 日，两次降水过程均先出现大范围急流冷锋降水，紧接着午后巴州北部局地出现雷雨大风、短时强降水、冰雹等强对流。中亚短波槽：欧亚范围内以纬向环流为主，在南疆盆地的中纬度西风带上存在短波活动，短波槽曲率有时不明显，往往温度槽表现更突出，当低槽曲率大、温度槽和高度场配置较好时易造成巴州北部春季的持续时间长的混合性系统降水，例如 2015 年 5 月 19 日和 2017 年 4 月 14 日过程；当低槽仅在西风带上的温度场有所表现时，易造成分散性系统降水和午后局地强对流性，天气形势场比较弱，多在午后不同气流汇合和复杂地形共同作用下形成中尺度对流系统造成强对对流天气，此类降水天气往往提前预报难度大，常漏报，日常实际业务中只能通过不断滚动更新对流潜势预报以及临近预警弥补不足。

春季强降水主要的天气尺度概念模型包括：急流冷锋、急流锋区、低槽切变辐合、低涡气旋，其中致灾强的春季降水主要是在地形以及多种不同性质气团相互耦合作用下触发的中尺度对流系统造成的强对流引起，对近年来库尔勒春季强降水天气主要天气尺度配置特征指标总结如下，急流冷锋：200 hPa 西南急流东移南压或西退北抬，500 hPa 偏西急流风速辐合，700 hPa 偏北急流或东南气流形成地形辐合线，850 hPa 偏北急流或东南急流致使水汽从北疆输送进入巴州，地面冷锋抬升触发降水。急流锋区：200 hPa

偏西急流或西南气流，500 hPa 偏西急流并在盆地里存在移动的干区，700 hPa 为偏北和偏西急流，850 hPa 存在偏西、偏南以及偏东等多股气流、在巴州中部形成气旋式环流、水汽从盆地南侧和北侧输送至巴州北部，500 hPa 干区的侵入或地面弱冷锋有利于启动和触发对流降水。低槽切变辐合：200 hPa 处于偏西急流或西南气流的分流区，500 hPa 为弱的东南或偏西气流，700 hPa 为西南、东南或偏北气流，850 hPa 也存在偏西、偏南以及偏东等多股气流，中低层 700 hPa 和 850 hPa 存在切变或辐合线，有的是纬向，有的是经向的，有时切变辐合线伴有急流，中低层存在不同性质的气团从两个或三个方向快速向库尔勒汇集，在不同层次形成的干线触发中尺度对流性降水。低涡气旋：200 hPa 位于西南急流分流区，500 hPa 为弱的气旋式环流，700 hPa 在盆地中部存在弱的气旋式风场、东风风速辐合区，850 hPa 南风风速辐合区，在垂直方向上高空不断有干冷空气下传与近地层暖湿空气交汇，垂直方向上的干侵入致使局地锋生触发对流(见图 8)。

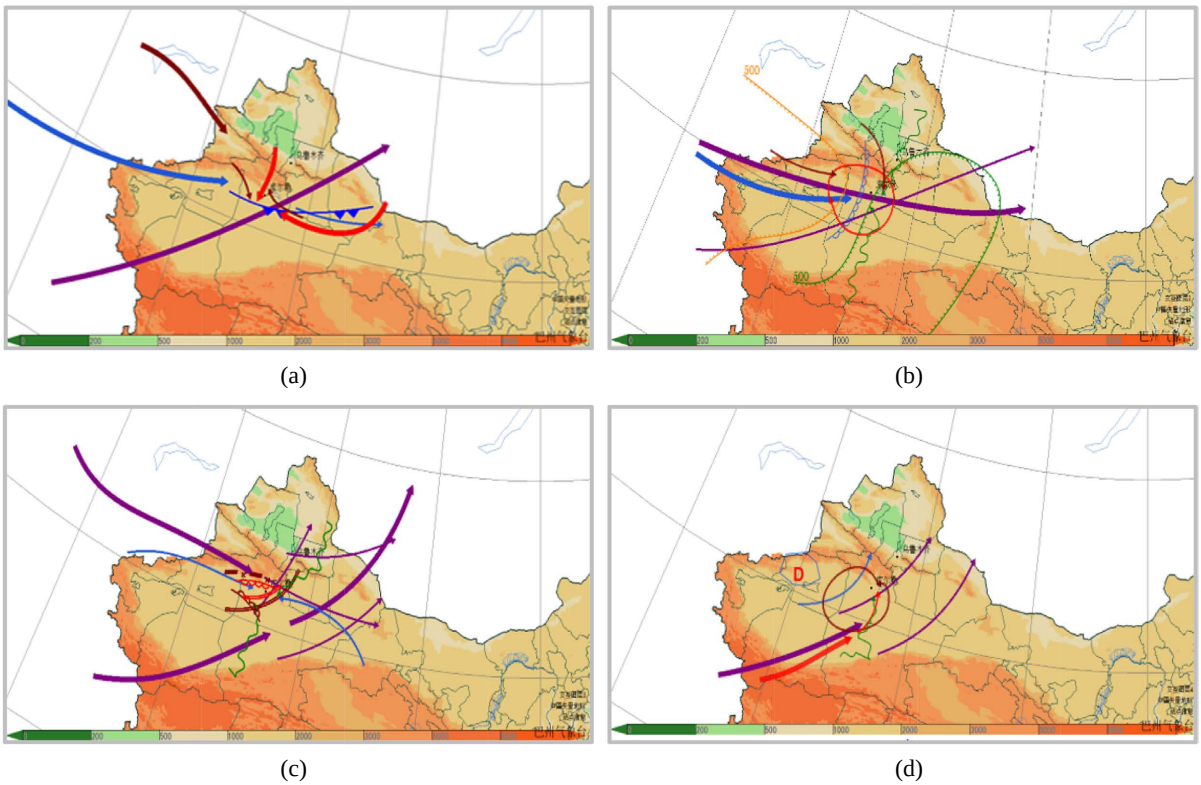

Figure 8. Conceptual model of weather scale for heavy precipitation in spring (a) Jet cold front (b) Jet front (c) Low trough shear convergence (d) Low vortex cyclone

图 8. 春季强降水天气尺度概念模型(a) 急流冷锋；(b) 急流锋区；(c) 低槽切变辐合；(d) 低涡气旋

7. 结论

1) 2019 年 5 月 4~7 日南疆中部巴州强降水发生在副热带西风急流季节性南北震荡与极锋急流南下背景中、并受浅薄中亚低涡持续影响，是 2019 年春季影响范围广、持续时间长、天气种类复杂多变、降水预报难度大，预警任务重的一次转折性、高影响天气。

2) 降水过程包含三个主力时段并对应不同类型降水，4 日白天到夜间为典型急流冷锋降水，强降水落区位于副热带西风急流入口区左侧、850 hPa 湿舌顶部及偏南风风速辐合区顶端；5 日午后到夜间为干线触发强对流降水，多股不同性质气团交汇形成中尺度强对流云团造成冰雹、雷雨大风、短时强降水；6

日白天到夜间为低涡气旋类的混合性降水，强降水落区位于 700 hPa 气旋式风场偏暖侧与低层风速辐合区的叠置区中。

3) 5 日白天至夜间存在两次中尺度对流云团的新生与增强发展，对流云团的新生与地面边界层不同性质气团在塔克拉玛干沙漠北侧边缘－戈壁－绿洲过渡地带辐合、汇集关系密切；后续对流云团再次新生与增强发展与冷外流边界及风与地形抬升作用相互耦合影响有关；表征降水形成条件不同探空物理量在对流天气发生前的激增变化对诊断分类强对流种类具有很好参考。

4) 雷达回波形态以及雷达产品特征值可以有效判断已经发生的中尺度对流天气类型，此次中尺度对流系统形成的冰雹和强降水回波在径向速度上表现强的正负速度中心对和明显的逆风区，尤其雷达径向速度在短时强降水开始前 1 h 表征出的中低层辐合明显增强的信息对短时临近预警具有很强指示意义。

5) 南疆中部春季高影响强降水影响系统多为中亚低值系统，包括中亚长波槽、中亚短波槽、中亚浅薄低涡，中亚长波槽温度锋区特征明显，中亚短波槽纬向环流为主多造成分散的对流性强降水，预报难度大易漏报；春季强降水天气尺度概念模型包括急流冷锋、低槽切变辐合、低涡气旋、急流锋区，急流类强降水的触发多与地面冷锋相关，切变、辐合气旋类强降水触发多与不同性质气团水平和垂直侵入有关。

基金项目

高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金项目(SZKT201905)。

参考文献

[1] 《新疆短期天气预报指导手册》编写组. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986.

[2] 刘惠云. 东灌天气[J]. 新疆气象, 1994(2): 11-13.

[3] 张超, 陈春艳, 吐莉尼沙, 施俊杰, 安大维, 张俊. 2018 年 5 月天山南坡两次翻山大风成因对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5): 1-8.

[4] 张俊兰, 张莉. 一次天山翻山大风天气的诊断分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(1): 13-17.

[5] 张俊兰, 彭军. 北疆春季降水相态转换判识和成因分析[J]. 高原气象, 2017, 36(4): 939-949.

[6] 曾勇, 杨莲梅. 南疆西部一次暴雨强对流过程的中尺度特征分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 475-484.

[7] 周雪英, 贾健, 刘国强, 仇会民, 杨柳. 2017 年春季南疆中部两次强降水天气环流配置及干冷空气侵入特征对比[J]. 气象科技, 2018, 46(6): 1201-1210.

[8] 庄晓翠, 李如琦, 李博渊, 李健丽, 孙智娟. 中亚低涡造成新疆北部区域暴雨成因分析[J]. 气象, 2017, 43(8): 924-935.

[9] 杨莲梅, 张云惠, 秦贺. 中亚低涡研究若干进展及问题[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(5): 1-8.

[10] 秦贺, 杨莲梅, 张云惠. 近 40 年来塔什干低涡活动特征的统计分析[J]. 高原气象, 2013, 32(4): 1042-1049.

[11] 杨莲梅, 史玉光, 汤浩. 新疆春季降水异常的环流和水汽特征[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1464-1473.

[12] 杨莲梅, 张云惠, 汤浩. 2007 年 7 月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 963-973.

[13] 黄艳, 刘涛, 张云惠. 2010 年盛夏南疆西部一次区域性暴雨天气特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 615-622.

[14] 张俊兰, 李娜, 秦贺, 李建刚, 刘晶, 刘雯, 美丽巴奴. 新疆一次暴雨过程的观测分析及水汽特征[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 537-545.

[15] 孔期, 郑永光, 陈春艳. 乌鲁木齐 7·17 暴雨的天气尺度与中尺度特征[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 12-22.

[16] 曾勇, 杨莲梅, 张迎新. 中亚低涡背景下新疆阿克苏地区一次强对流天气形成的干侵入机制[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 34-43.

[17] 曾勇, 杨莲梅, 张迎新. 伊犁地区一次罕见特大暴雨中尺度系统的数值模拟[J]. 干旱气象, 2020, 38(2): 290-300.

[18] 彭军, 周雪英, 魏勇. 一次春季天气过程中不同降水类型的云图及雷达特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(3): 24-30.

[19] 王清平, 彭军, 茹仙古丽·克里木. 新疆巴州“6.4”罕见短时暴雨的 MCS 特征分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 685-692.

[20] 周雪英, 仇会民, 刘国强. 2016 年夏季新疆巴州一次暴雨过程诊断分析[J]. 天气预报, 2016(增刊): 64-72.

[21] 周雪英, 彭军, 刘杰. 库尔勒市强降水天气的环流配置及触发机制分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(5): 47-55.

[22] 韩国泳, 李兰兰, 荆涛, 赵敏芬, 宋中玲. 鲁中山区一次漏报的强对流天气过程中地形触发作用分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(3): 540-546.

[23] 徐姝, 东高红, 熊明明. 冷池对引发新乡“7·9”特大暴雨的中尺度对流系统的影响分析[J]. 气象, 2019, 45(10): 1426-1438.

[24] 张云惠, 杨莲梅, 肖开提·多莱特, 秦贺, 李圆圆, 杨霞. 1971-2010 年中亚低涡活动特征[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 312-321.

[25] 秦贺. 塔什干低涡气候特征及其对南疆降水的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2012.

[26] 郑媛媛, 姚晨, 郝莹, 张雪晨. 不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时临近预报预警研究[J]. 气象, 2011, 37(7): 795-801.

[27] 彭军, 汤达章, 周雪英. 库尔勒市 2015 年两次冰雹天气成因及雷达回波特征对比分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 753-761.