

# 新疆南疆西部干旱地区短时强降水预报方法及指标

王金辉<sup>1</sup> 王东<sup>1</sup> 井立红<sup>2</sup> 吴海英<sup>3</sup> 杨利鸿<sup>4</sup> 肉孜阿吉<sup>5</sup>

(1 新疆维吾尔自治区克孜勒苏柯尔克孜自治州气象局, 阿图什 845350;

2 新疆维吾尔自治区塔城地区气象局, 塔城 834700; 3 江苏省气象台, 南京 830002;

4 新疆维吾尔自治区喀什地区气象局, 喀什 844000; 5 新疆维吾尔自治区气象局, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 利用新疆维吾尔自治区克孜勒苏柯尔克孜自治州(简称“克州”)4个站点2006—2013年逐时降水量实况资料、喀什雷达及探空资料,分析了克州地区短时强降水的发生规律及年代际变化特征。结果表明:1)克州地区短时强降水多出现在5—9月,尤以6—7月最多,且多出现于午后及前半夜;2)着眼于500 hPa环流形势演变,对影响克州地区短时强降水天气出现的影响系统进行分型,主要有中亚低涡或低槽东移型、巴尔喀什湖(以下简称巴湖)低涡型、喀布尔低槽(涡)型、锋区南压型4种类型,并归纳分析了上述4种影响系统造成各类短时强降水天气的概念模型;3)利用典型历史个例中探空资料物理参数进行分析,得到一些统计特征,同时利用探空订正来进行潜势预报,并对得出的预报探空及订正指标进行检验;4)探空资料V-3θ图显示强降水具有明显的非均匀结构、存在明显的大肚状,风矢结构为明显的顺滚流;5)利用喀什雷达资料对克州短时强降水得出指标:回波强度在45~60 dBz、回波顶高在5.0~9.0 km、强降水回波最大垂直累积液态含水量在4~40 kg/m<sup>2</sup>、强中心所在高度在1~7 km、≥35 dBz的对流回波在本站持续1 h。

**关键词:** 短时强降水, 环流分型, 对流参数, 潜势预报, 雷达特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.04.003

## Forecast Method and Index of Short-Term Storm in the Arid Region of Southwestern Xinjiang

Wang Jinhui<sup>1</sup>, Wang Dong<sup>1</sup>, Jing Lihong<sup>2</sup>, Wu Haiying<sup>3</sup>, Yang Lihong<sup>4</sup>, Rou Zi·A Ji<sup>5</sup>

(1 Meteorological Bureau of Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture, Artux 845350

2 Kaxgar Tacheng Meteorological Bureau, Tacheng 834700 3 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

4 Kashi Meteorological Bureau, Kashi 843305 5 Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002)

**Abstract:** Based on hourly precipitation of four stations from 2006 to 2013 in Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture and radar sounding data in Kashi, the occurrence regularity and interdecadal variation of short-term storm in Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture was analyzed. Results show that most of the short-term storm events were observed from May to September, with a peak in June or July. Most of them happened at afternoon and the first half of the night. Based on the evolution of circulation at 500 hPa, the influencing circulation patterns could be categorized to the following four patterns: 1) low vortex in Central Asia or low trough eastward, 2) low vortex in Baikal Lake, 3) low vortex (trough) in Kabul, and 4) frontal zone southward. The conceptual models were developed for those four patterns which could cause short-term storm events. The physical parameters in radar sounding from typical historical cases were analyzed. Meanwhile, the potential forecast was available from the adjusted sounding data, and the adjusted index from forecast sounding could be inspected as well. The V-3 theta sounding data had obviously heterogeneous structure and Pot-bellied shape, and wind vector had obviously clockwise flow. The radar data in Kaxgar indicated that the short-term storm had the following characteristics: echo's intensity varied between 45–60 dBz, echo's top height was 5.0–9.0 km, maximum vertical accumulated liquid water varied from 4–40 kg/m<sup>2</sup>, the height of strongest center ranged from 1 to 7 km, and the convection with echo stronger than 35 dBz lasted at least one hour at local stations.

**Keywords:** short-term storm, circulation pattern, convective parameters, potential forecast, radar characteristics

### 0 引言

新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称“克

州”)位于南疆盆地西部,昆仑山北麓和帕米尔西端,全州地跨帕米尔高原东部,90%属于山地,是我国向西开放的大通道和“桥头堡”。随着全球气候变暖的背景,克州因其地理环境特殊,短时强降水多发、频发,不均匀性突出,在短时强降水天气条件下易引发次生灾害。据灾害数据统计,强对流天气是近

收稿日期:2019年1月17日;修回日期:2019年7月19日

第一作者:王金辉(1973—),Email:wjhw.2006@163.com

资助信息:新疆维吾尔自治区气象局面上项目(MS201915)

年来仅次于暴雨洪涝造成人员伤亡的第二大类气象灾害。由于短时强降水的预报难度较大,提高克州灾害性天气预报,特别是短时强降水的预报预警,已成为迫在眉睫的工作,也是防灾减灾所面临的重大挑战。

短时强降水是指短时间降水强度较大,其降水量达到或者超过某一量值的天气现象,属于强对流天气的一种,根据《全国短时临近预报业务规定》规定,将其定义为1 h雨量 $\geq 20$  mm的降水,且降水总时间不超过6 h,多由中小尺度系统产生,具有突发性强,降水强度大,降水时间集中、可预报时效短的特点。因其突发性强,常造成城市积涝、山区洪水,冲毁公路、铁路、农田,对市民出行、农牧业生产、公路交通运输造成严重影响,且易引发暴雨山洪、泥石流、山体滑坡等次生地质灾害。

许多学者就提高我国各地突发性短历时强降水预报效果做了多方面的研究,司福意等<sup>[1]</sup>对豫中北一次重灾强对流天气过程剖析是在“流型识别”的基础上,结合分析了强对流天气4大构成要素的动态演变,得出有助于提高强对流天气预报能力的结论。曾明剑等<sup>[2]</sup>引进构建了系列“接近度”指数用于强对流天气实时预报取得了较好的业务预报效果。王晓峰等<sup>[3]</sup>认为快速更新同化数值模拟可以有效延长上海局地强对流过程预警时效并为城市强对流业务预报提供新思路,但对短历时强降水致灾阈值探索的研究报道较少。彭芳等<sup>[4]</sup>统计分析了贵州省汛期短时强降水的时空分布特征。尹承美等<sup>[5]</sup>对济南市短时强降水特征进行了分析。韩宁等<sup>[6]</sup>对陕西、甘肃、宁夏三省(区)的短时强降水进行了统计。郑媛媛等<sup>[7]</sup>对安徽省强对流天气过程的物理机制、中尺度特征进行了分析,认为短时强降水槽前类对流不稳定的建立主要是由于湿度差动平流引起,快速东移的短波槽是短时强降水的主要触发机制。陈明轩等<sup>[8]</sup>分析研究了北京一次突发性对流降水的雷达回波特征。孙继松<sup>[9]</sup>研究发现,短时强降水中最强回波所在的高度往往很低。李德俊等<sup>[10]</sup>对强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警进行了分析研究,找出了适合本地的雷达预警指标。应冬梅等<sup>[11]</sup>选取了江西8次典型个例对冰雹、雷雨大风和短时强降水进行了对比,得到强对流天气的特征。杨诗芳等<sup>[12]</sup>通过个例分析发现,短时强降水时大气层结不稳定,各个大气对流参数场中心与短时强降水中心对应较好。廖玉芳等<sup>[13]</sup>在我国11次强对流事件中499个S波段三体散射样本雷达资料进行统计分析,认为这一现象可以应用与强冰雹预报辅助预警。环境参数特征研究有助于了解强对流天气发生的物理

过程,许多参数在实际预报中有一定的指示意义。很多专家<sup>[14-16]</sup>也在这方面进行深入的研究,周后福等<sup>[17]</sup>在分析了1995—2001年的雷暴、大风、冰雹等强对流天气过程,计算了不稳定指标、K指数和位势不稳定指标等,用来作为强对流天气的短时预报指标;廖晓农等<sup>[18]</sup>利用CAPE、抬升指数和风切变等一些物理量分析一次严重的大雹事件;雷蕾等<sup>[19]</sup>分析了多种物理量在冰雹、雷暴大风和短时暴雨天气下的差异,指出0℃层高度、-20℃层高度、 $T_{850}-T_{500}$ 、低空风切变等有助于区分北京地区强对流天气的类别,认为这些参量的时间变化比物理量本身更能体现各种天气的发生潜势;李俊等<sup>[20]</sup>将“配料法”应用于梅雨锋强降水预报,使用“配料法”的关键在于合适因子的选取和对这些因子正确搭配的预测,该思路也可应用于冰雹、雷暴大风等强对流天气的预报;陈子通等<sup>[21]</sup>分析了广州中尺度数值模式,得出模式对温度的模拟结果比其他物理量好。郝莹等<sup>[22]</sup>分析发现了中等强度的对流有效位能和高的K指数有利于高降水效率的产生。

本文在借鉴前人研究理论的基础上,利用克州境内4个国家气象站2016—2013年逐时降水实况资料,结合常规资料、探空资料以及喀什新一代天气雷达资料,分析研究了克州地区短时强降水预报的气候统计特征、演变规律及环流特征,从中总结归纳出相应的预报因子,得到短时强降水的识别和预报指标。

## 1 资料与方法

利用2006—2013年克州地区4个气象观测站(阿图什、阿克陶、阿合奇、乌恰)5—9月逐日逐小时降雨资料(图1),将日雨量分为02—08、08—14、14—20和20—02时4个时段(北京时,下同)。

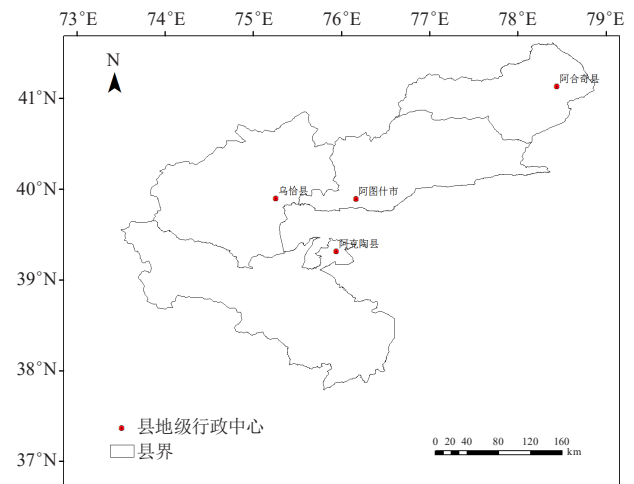


图1 克州地区三县一市站点分布图

Fig. 1 Distribution of stations in three counties and one municipal city in Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture Kezhou

依据新疆地区降雨量标准结合本地天气气候特点,规定以1 h降水量 $\geq 10$  mm作为短时强降水的标准。本文结合克州的实际情况和灾情分析,找出1 h降水量不小于7 mm,强降水历时不超过3 h的典型个例进行系统分析,将阿图什,阿克陶划分为平原站,乌恰、阿合奇划分为山区站,选出上述站点20个典型短时强降水的典型天气过程进行统计分析(表1)。

表1 2006—2013年克州地区短时强降水过程统计  
Table 1 Statistics of precipitation process during 2006—2013 in Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture

站点	出现日期	出现时段	1 h最大降水量/mm	日降水量/mm	影响系统
阿图什	2006-07-02	04—05	8.3	16.9	威海巴湖低槽东移
阿克陶	2010-05-29	22—23	8.3	9.5	喀布尔低涡槽
阿图什	2010-06-30	16—17	7.1	7.1	中亚短波槽
阿图什	2011-08-11	15—16	7.1	7.1	中亚低压槽
阿图什	2012-06-28	21—22	10.4	10.5	中亚短波槽
阿图什	2012-07-16	18—19	7.1	9.2	中亚低压槽
阿克陶	2012-07-19	18—19	17.7	19.7	喀布尔低涡槽
阿克陶	2012-07-25	01—02	18.5	19.8	中亚低压槽
阿图什	2013-06-16	15—16	26.2	29.9	锋区南压型
阿图什	2013-07-10	18—19	7.2	7.8	中亚低压槽
阿合奇	2006-06-07	13—14	19.4	37.2	中亚低压槽
乌恰	2006-06-29	22—23	7.0	13.3	巴湖低槽
阿合奇	2006-08-08	18—19	10.8	14.4	锋区南压型
乌恰	2008-07-23	16—17	13.3	22.4	中亚低压槽
乌恰	2010-06-14	18—19	10.2	10.3	喀布尔低涡槽
乌恰	2010-06-19	23—24	11.9	13.5	中亚短波槽
阿合奇	2010-06-27	19—20	11.1	11.1	锋区南压型
乌恰	2011-05-12	18—19	8.1	23.6	中亚短波槽
乌恰	2012-09-14	18—19	15.5	16.5	锋区南压型
阿合奇	2013-08-16	21—22	15.0	23.9	中亚低涡

## 2 短时强降水时空特征分析

### 2.1 短时强降水时间分布特征

从图2a可知,2006—2013年克州地区短时强降水年平均出现24次,且其年代际变化较大,最多出现在2010年,达57次,其次为2013年,达30次,2007年最少,出现12次,对照克州地区年降水资料来看,2010年年降水量明显偏多,其中阿图什、阿合奇年降水量分别为219.9 mm、436.7 mm,居1980年以来历史第一位,可见短时强降水对年降水贡献率较大。

对克州地区短时强降水日数的月际变化进行分析发现(图2b),克州地区5月开始出现短时强降水,7月最多(62次),占总数的33%,其次9月(48次),占总数的25%,5月最少(仅22次),占总数的11%;从同期逐月短时强降水次数变化可知,克州地区短时强降水主要出现在6—7月、9月(其中2010年9月出现持续性强降水占14时次),6—7月发生短时强降水频

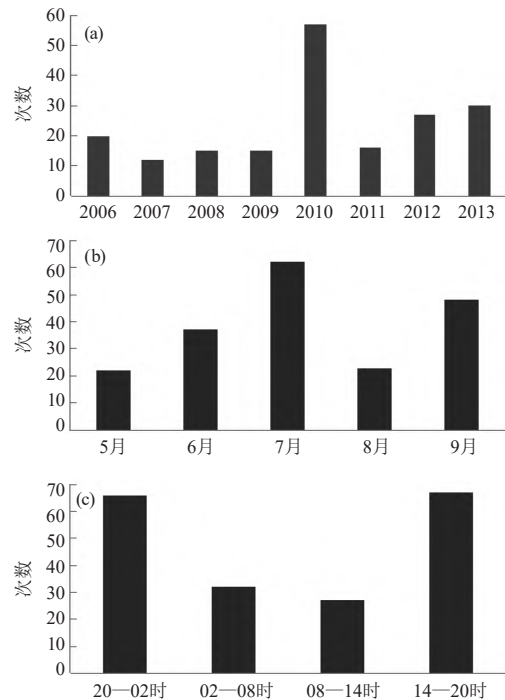


图2 2006—2013年克州地区短时强降水年(a)、月(b)及时段(c)次数变化

Fig. 2 Number of short-term storm event in 2006—2013 at the scale of (a) year, (b) month, and (c) hour in Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture

率较大。

对短时强降水日数的旬变化分析来看,最多出现在7月下旬,达26次,其次为7月上旬,达20次,就短时强降水的出现时间而言,平原多出现在6月下旬及7月上中旬,山区多出现在6月中下旬。

对克州地区短时强降水日数逐时变化特点进行分析发现(图2c),14—20时出现次数最多,达67次,其次为20—02时,达66次,08—14时出现最少,仅27次,即主要出现在午后至前半夜,上午出现最少,这与新疆地区短时强降水分布特点一致。

### 2.2 短时强降水空间分布特征

统计2006—2013年克州地区出现短时强降水的次数,结果表明(图略)短时强降水次数分布不均匀,整体上是山区大于平原,高频中心在北部山区阿合奇,出现了77次,其次为西部山区乌恰66次,阿克陶最少21次。

### 2.3 克州1 h降水极值分布特征

使用2006—2013年克州地区逐时降水量资料,从中挑选出1 h最大雨强值,为便于比较,同时列出当日24 h降水量及相对误差。由表2可见,克州地区1 h强降水极值在同日24 h雨量中占比很高,表明日暴雨或特大暴雨多由很短时段内的强降水所致。8年中,克

州地区最大1 h降水26.2 mm, 出现于阿克陶站(2013年6月16日15—16时), 当日日降水量为29.9 mm, 相对误差(即日最大1 h降水量占日降水量的百分数)为12.4%。此外, 克州地区小时雨强极值分布表现为平原大于山区, 但从日降水量来看, 平原持续时间短, 山区由于海拔较高, 由地形引起的起来爬坡作用明显, 降水强度大于平原。

表2 2006—2013年克州地区极值强降水分布特征  
Table 2 Distribution characteristics of extreme strong rainfall from 2006—2013 in the Kizilsu Kirgiz Aksu Autonomous Prefecture

站点	出现日期和时段	日最大1 h 降水量/mm	地面观测日 降水量/mm	相对误差 /%
阿图什	2010年7月25日(23—24时)	20.8	21.3	2.3
阿克陶	2013年6月16日(15—16时)	26.2	29.9	12.4
乌恰	2012年7月25日(22—23时)	19.2	38.4	50
阿合奇	2008年9月23日(18—19时)	17.3	24.9	30.5
	2014年7月10日(16—17时)		27.2	36.4

### 3 短时强降水天气环流分型

短时强降水是一种强对流的重要形式, 形成强对流天气的3个基本条件: 水汽、不稳定层结和抬升力条件。水汽和不稳定层结是产生强对流的内在因素, 抬升力条件是产生强对流的外在因素, 其内在因素和各类天气系统相联系。

强对流天气是否发生离不开大的天气尺度背景环境条件, 天气系统是预报员在分析天气时首先考虑的问题。各地发生强对流天气的天气系统具有地域性, 夏季午后陆地表面受日射而强烈加热, 常常在近地层形成绝对不稳定层结, 使对流容易发展。

环流形势是强降水预报的核心, 新疆强降水的天气尺度影响系统主要是低槽、低涡两大类。统计分析了2006—2013年5—9月克州地区20个典型短时强降水日( $R \geq 7$  mm/h, 强降水历时不超过3 h)。按照500 hPa影响系统造成克州短时强降水时所处位置、移动方向、锋区强度等特征, 选择短时强降水天气发生当日08时高空、地面综合分析得出造成克州短时强降水的4种类型。

#### 3.1 中亚低涡或低槽东移型

克州地区短时强降水天气多由此种影响系统所致, 共出现12例, 占总发生次数的60%, 其影响系统特征为: 高层200 hPa在整个南疆盆地上空有偏西急流, 最大达30 m/s; 500 hPa图上, 中亚地区有低压槽, 并配合有冷温度槽, 700 hPa在西天山附近有明显的切变, 短时强降水大值位于切变线附近, 850 hPa有明显的暖脊, 暖中心为28 °C, 同时南疆盆地东部有明显的偏东风大值区, 最大风速12 m/s; 地面图上(图3a), 地面

冷高压位于北疆北部, 中心数值一般为1012.5 hPa, 克州地区处于冷高压底部, 高空槽携带的弱冷空气与偏东风在阿图什上空交汇, 为短时强降水的发生提供了有利的条件。从探空资料来看, 盆地中西部的SI较低, 尤其克州地区上游SI达-3.8。综合分析南疆喀什及克州地区具有较明显的强对流潜势, 热力、动力、稳定度条件均利于触发强对流天气。

#### 3.2 巴湖低涡型

此型出现短时强降水的概率较低, 仅占1例, 占总发生次数的5%。从2011年8月11日08时的中尺度分析可以看出(图3b), 克州上空200 hPa图上高层有较强急流(最大风速54 m/s), 对下有抽吸作用。500 hPa里威海一带为高压脊区, 伊朗副高和西太平洋副高活跃, 低槽位于巴湖一带, 并配合有冷温度槽, 温度槽略超前高度槽, 槽后强西北风气流携带冷空气穿越克州, 说明垂直风切变较大, 另一方面说明阿图什上空将变得更加干冷; 700 hPa、850 hPa在克州阿图什附近有明显的风场辐合及切变, 850 hPa阿图什附近的温度露点差较小, 克州处于湿区中; 在中亚地区有暖温度脊, 加之辐射增温, 未来低层温度将进一步升高, 同时南疆盆地东部700 hPa从河西走廊到南疆西部存在明显的大风速带, 850 hPa有明显的东风急流, 最大风速达14 m/s, 说明克州低层存在有利的水汽条件, 新疆多处于850 hPa和500 hPa的温差大于25 °C的温度场内, 较大的垂直温度梯度表明阿图什上空大气层结不稳定。地面图上(图3b), 乌拉尔山南下的冷高压中心位于威海到巴湖一带, 中心数值为1020.0 hPa, 阿图什处于冷高压的底部。从喀什站08时探空资料来看,  $K=31$ ,  $SI=0.08$ , 同时存在一定的湿对流有效位能, 均有利于强对流天气的出现。

#### 3.3 喀布尔低槽(涡)型

此型下发生的短时强降水为3例, 占总发生次数的15%。图3c给出2010年5月29日08时高空综合分析图。从当天08时的中尺度分析可以看出, 整层无明显急流, 500 hPa新疆东部脊西伸, 低槽位于喀布尔以西地区, 主体位置偏南对应中亚一带为冷槽, 中心为-14 °C, 白天随着温度槽、脊的东移, 会导致槽脊周围温度发生变化, 致使热力不稳定, 可能触发强对流天气。700 hPa在克州周边地区有明显的风场辐合及切变, 同时东部有一条显著大风速带, 最大风速为8 m/s, 位置偏南, 对克州南部若羌影响较大。850 hPa克州上空有48 °C的暖中心, 在南疆东部有明显的偏东风急流, 最大风速达12 m/s, 南部有显著湿区, 在中低层东风的辐合抬升作用下, 短时强降水大

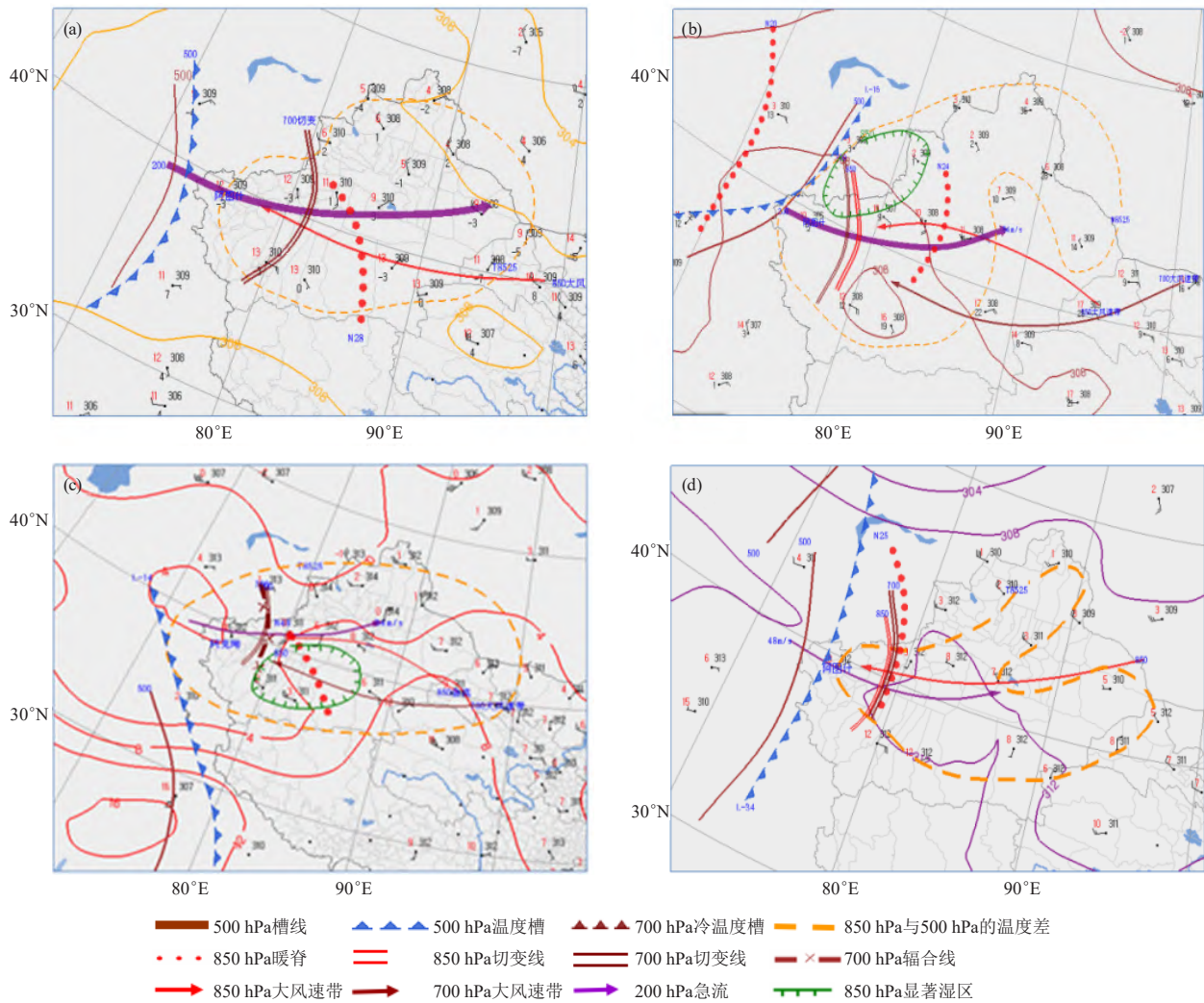


图3 克州地区强降水中尺度环流场分析

Fig. 3 Meso-scale circulation of rain field in Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture

值区位于克州南部的阿克陶。从喀什站探空资料来看,  $K=21$ ,  $SI=0.88$ , 同时存在一定的湿对流有效位能, 综合来看, 喀什及克州地区具有一定的强对流潜势。

### 3.4 锋区南压型

此型下共出现4例短时强降水天气, 占总发生次数的20%。从中尺度分析可以看出, 克州上空200 hPa高层有较强急流(最大风速48 m/s), 对下有抽吸作用。500 hPa低槽位于乌拉尔山到咸海、巴湖一带, 该槽主体位置偏北, 锋区一般位于 $45^{\circ}$ — $55^{\circ}$ N, 锋区上不断分裂短波槽, 锋区底部分裂短波东移南下; 700 hPa图上在西天山一带有明显的垂直风切变, 且850 hPa和700 hPa风切变位置基本重合, 有利于动力不稳定加强, 同时配合有 $25^{\circ}$ C暖温度脊, 低层盆地有大东风带, 最大风速为10 m/s, 高层在整个南疆上空有偏西急流, 具备较强的动力条件, 850、500 hPa温

度差大值中心说明有强的垂直温度梯度, 大气层结为不稳定, 这种高低空配置容易造成克州地区出现短时强降水天气; 地面图上(图3d), 地面冷高压位于里咸海一带, 中心数值为1020.0 hPa, 而在喀布尔一带有明显的气旋向北发展, 从而加强了辐合上升运动; 从探空资料来看, 喀什克州上空SI较低, 综合来看, 热力、动力、稳定度条件均有利于喀什及克州强对流的发生。

## 4 短时强降水物理量阈值统计特征

### 4.1 动力条件

诊断分析各种物理量场可知, 个例中物理量值差别较大, 涡度、散度场没有表现出明显的低层辐合、高层辐散的特征, 比较而言, 850 hPa垂直速度、0~6 km垂直风切变分别与克州地区短时强降水出落区和出现时间有较好的对应关系, 其中850 hPa垂

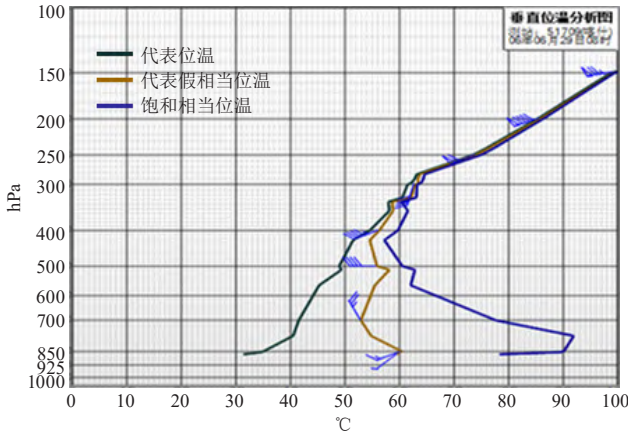


图4 喀什站探空位温分析

Fig. 4 Space temperature distribution at the Kashi Station

直速度阈值在 $-36 \sim -6 \text{ Pa/s}$ ,  $0 \sim 6 \text{ km}$ 垂直风切变在 $5.0 \sim 12.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , 此种情况下出现短时强降水的个例占总次数的60%。

#### 4.2 水汽条件分析

诊断分析850 hPa水汽通量、700 hPa和850 hPa比湿、850~700 hPa相对湿度、850 hPa风场资料, 结果发现这些物理量对克州地区短时强降水有很好的指示意义。分析表明850 hPa水汽通道多来自于河西走廊经北疆、巴州到达南疆西部, 水汽通量在 $3 \sim 6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ , 且满足这一阈值范围的个例占总次数的64%; 南疆盆地东部有 $8 \sim 16 \text{ m/s}$ 大风速带, 满足这一阈值范围的个例占总次数的85%; 850 hPa比湿多在 $6 \sim 12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 700 hPa比湿多在 $4 \sim 8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。通常情况下, 低层700、850 hPa相对湿度的大值区(70%~90%)与强降水落区有很好的对应关系, 分析表明克州地区出现短时强降水天气时大多具有充分的水汽条件, 水汽输送明显。

#### 4.3 热力不稳定条件分析

利用探空资料及物理量参数对克州地区20个典型短时强降水个例的平均值进行统计分析, 将克州地区产生短历时强降水有利的环境条件归纳如下:

- 1)  $K$  指数 $\geq 28$  (山区 $\geq 23$ ),  $700 \text{ hPa } T-T_d \geq 9$
- 2)  $SI$  或  $LI \leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$
- 3)  $TT$  总指数 $\geq 48 \text{ }^\circ\text{C}$  (山区 $\geq 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- 4)  $\theta_{\text{sed}}(850-500) > 0 \text{ }^\circ\text{C}$
- 5)  $ZH$  零度层高度 $\geq 4000$  (山区 $\geq 4200$ )
- 6)  $T_{850}-T_{500} \geq 27 \text{ }^\circ\text{C}$  (山区 $\geq 29 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$K$ 、 $SI$ 、 $LI$ 、 $TT$ 、 $(T-T_d)$  700 hPa等对流参数作为局地强对流天气发生的有利条件, 在短时强降水过程中的变化中不仅能直观地反映出局地物理特征的演

变且在强对流发生前数小时就有一定的反映, 因此可作为克州地区预报强对流天气的指标, 在短临预报预警中加以运用。

对于短时强降水天气的发生发展并非所有参数都适用, 因此, 对流参数对于强对流天气发生的潜势预测须在大尺度环流背景条件下, 根据预报时效选取恰当的对流参数或组合指标进行预测、强度判别或强天气类型分析。克州地区的强对流天气多发生于午后到前半夜, 而预报员发精细化预报是在15—16时左右, 早上08时的探空, 未考虑午后可能发生的加热变化。因此为使其更具代表性, 对午后升温进行站点的探空订正。订正后的指标更能表征强降水的出现。

利用20个典型短时强降水天气个例, 采用喀什站14时最高气温和露点温度进行探空订正, 进一步探讨克州地区预报短时强降水天气的探空指标, 以期在夏季短历时强降水中发挥预报预警作用。结果表明, 产生短历时强降水有利的环境条件归纳如下:  $K$  指数 $\geq 31 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $K$  指数6 h增幅变化比较明显;  $SI \leq 2.8$  (山区1.8)、 $LI \leq 1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $LI$  越小表明大气层结越不稳定;  $CAPE$  湿对流有效位能订正前后的差值 $\geq 430$ , 从探空订正样本个例中发现, 降水出现时,  $CAPE$  最高为 $1041.1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  (伴有冰雹), 最低为 $68 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 但 $\geq 0 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  的占总样本数的50%,  $CAPE$  的6 h变量越大, 发生冰雹的概率也越大;  $P_w$  大气可降水量 $\geq 2 \text{ cm}$  (山区 $\geq 1.6 \text{ cm}$ ), 表明大气中含大量水分, 其水分随上升气流从低层向高处输送,  $P_w$  值越大, 强对流越容易发生。

从2014—2015年4—9月降水个例中挑出平原3个, 山区10个进行探空检验并进一步订正, 以期在未来提高短临预报准确率。从7个探空预报指标来看, 检验结果与预报指标的一致率较高。由于平原检验个例只有3个, 在未来工作过程中进一步检验指标。山区的检验10个个例中, 检验结果中 $SI$ 和 $LI$ 与预报指标的一致率较差, 其他的均较好。从潜势的预报指标来看, 准确率较高, 均大于70%。

#### 4.4 探空分析

V-3 $\theta$ 图(图4)是用单站探空资料计算和绘制出的垂直方向上的两维图, 愈是剧烈的灾害性天气在发生前V-3 $\theta$ 图上的特征愈明显。3 $\theta$ 即 $\theta$ 、 $\theta_{\text{sed}}$ 、 $\theta^*$ , 其中 $\theta$ 是位温,  $\theta_{\text{sed}}$ 是以露点温度计算的假相当位温,  $\theta^*$ 是假定饱和状态下的位温。V-3 $\theta$ 图中3条曲线从左向右依此为 $\theta$ 、 $\theta_{\text{sed}}$ 、 $\theta^*$ 。查看了20个典型个例的V-3 $\theta$ , 强降水天气在V-3 $\theta$ 图有较为清晰的结构特征, 主要体现在: 1) 明显的非均匀结构, 存在明显的拐点, 表示

气层不稳定,且中低层围成的面积有明显的“大肚子”的图像特征(表示下湿上干的潜在不稳定),3条曲线在对流层顶附近基本重合且线性增加;2)风矢结构为明显的顺滚流。风速一般是高空风速大,低层风小,一致西风 and 一致南风为顺时针滚流,表示气层有利暖湿平流,有利于上升运动。

## 5 短时强降水雷达回波统计特征

利用喀什多普勒雷达资料,对2006—2013年克州地区16个典型个例(其中阿合奇不在雷达扫描范围内)短时强降水的基本反射率、组合反射率、基本速度、回波顶高、垂直积分液态含水量等pup产品的回波特征统计分析,总结出克州短时强降水发生的短临预报预警指标:

### 1) 回波强度

短时强降水回波强度较大,平均回波强度为56.4 dBz,最大65 dBz,最小45 dBz;

### 2) 回波顶高

短时强降水平均回波顶高7.2 km,最高9.7 km,最低5.0 km;

### 3) 最大垂直积分液态含水量

从最大累积液态含水量统计得出:强降水回波平均最大垂直累积液态含水量达22.2 kg/m<sup>2</sup>、最大40 kg/m<sup>2</sup>、最小4 kg/m<sup>2</sup>。

### 4) 强中心所在高度

短时强降水:平均3.0 km;最高6.9 km,最低1.1 km;

### 5) ≥35 dBz的对流回波能否在本站持续一小时

统计结果表明,≥35 dBz的对流回波能与本站持续一小时的占60%。

## 6 结论与讨论

1) 2006—2013年克州短时强降水天气主要出现在6—8月下旬,6—7月发生短时强降水频率较大,且短时强降水多发生于午后到前半夜。

2) 从环境条件来分析:地面冷高压自西向东,中心多位于巴湖一带,中心数值为1007.5~1027.5 hPa。500 hPa造成短时强降水的主要影响系统有:中亚低涡或低槽东移型,巴湖低涡型,喀布尔低槽(涡)型,锋区南压型4类,从天气形势上看无论是明显的天气系统还是弱锋区分裂短波,都可能产生短时强降水。克州地区短时强降水出现时常为200 hPa有高空急流,500 hPa有低槽,中层有切变线,低层有暖高压脊同时伴有东风带,850 hPa与500 hPa温差多处于25以上的大值区;地面影响系统多为弱冷高压、辐合线。

3) 基于中尺度产品分析,结合多种对流参数总结分析出08时对流参数指标,由于克州午后升温幅度

大,不稳定能量建立快,订正后的探空比08时对克州地区强对流天气又更好的指示意义。

4) 14时探空订正后的 $K$ 指数 $\geq 31$  °C、 $SI \leq 2.8$  (山区1.8)  $LI \leq 1.9$  °C、 $CAPE$ 湿对流有效位能订正前后的差值 $\geq 430$ 、 $Pw$ 大气可降水量 $\geq 2$  cm (山区 $\geq 1.6$  cm),可以作为克州发生短时强降水天气的预报指标。

5) V-3 $\theta$ 图是用单站探空资料计算和绘制出的垂直方向上的两维图,愈是剧烈的灾害性天气在发生前V-3 $\theta$ 图上的特征愈明显。在3 $\theta$ 图上表现为明显的大肚子、顺滚流等特征。

6) 利用喀什多普勒雷达资料,基本反射率、组合反射率、基本速度、回波顶高、垂直积分液态含水量等pup产品的回波统计特征,能够很好有效地监测强降水的发生、发展以及落区,为短临预报提供重要的依据,同时也是作为短时强降水预警的一个辅助手段。

## 参考文献

- 曾明剑,张备,吴海英,等.基于接近度概念的强对流天气预报方法研究.高原气象,2015,34(5):1357-1368.
- 司福意,周顺武,王传辉,等.豫中北一次重致灾强对流天气过程剖析.高原气象,2015,34(6):1732-1740.
- 王晓峰,王平,张蕾,等.上海“7·31”局地强对流快速更新同化数值模拟研究.高原气象,2015,34(1):124-136.
- 彭芳,吴古会,杜小玲.贵州省汛期短时降水时空特征分析.气象,2012,38(3):307-313.
- 尹承美,梁永礼,冉桂平,等.济南市短时强降水特征分析.气象科学,2010,30(2):262-267.
- 韩宁,苗春生.近6年陕甘宁三省5—9月短时强降水统计特征.应用气象学报,2012,23(6):691-701.
- 郑媛媛,姚晨,郝莹,等.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.气象,2011,37(7):795-801.
- 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等.北京2004年“7·10”突发性对流强降水的雷达回波特征分析.应用气象学报,2006,17(3):333-345.
- 孙继松.从天气动力学角度看云物理过程在降水预报中的作用.气象,2014,40(1):1-6.
- 李德俊,唐仁茂,熊守权,等.强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警.气象,2011,37(4):474-480.
- 应冬梅,许爱华,黄祖辉.江西冰雹、大风与短时强降水的多普勒雷达产品的对比分析.气象,2007,33(3):48-53.
- 杨诗芳,郝世峰,冯晓伟,等.杭州短时强降水特征分析及预报研究.科技通报,2010,4(4):2378-2390.
- 廖玉芳,俞小鼎,吴林林,等.强雹暴的雷达三体散射统计与个例分析.高原气象,2007,26(4):812-820.
- 汤锁坤.用多方位铅直剖面图综合分析暴雨和强对流天气.高原气象,1986,5(1):86-100.
- 廖晓农,俞小鼎,王迎春.北京地区一次罕见雷暴大风过程特征分析.高原气象,2008,27(6):1350-1362.
- 李厚檀,孙承旬.相对广义温度平流在强对流天气分析和预报中的应用.高原气象,1996,15(3):363-369.
- 周厚福,邱明燕,张爱明,等.基于稳定性和能量指标做强对流天气的短时预报指标分析.高原气象,2006,25(4):716-722.
- 廖晓农,俞小鼎,于波.北京盛夏一次罕见的大雹事件分析.气象,2008,34(2):10-17.
- 雷蕾,孙继松,魏东.利用探空资料判别夏季强对流的天气类别.气象,2011,32(2):136-141.
- 李俊,李武阶,廖移山.基于“配料”的梅雨锋强降水预报方法.气象,2006,32(9):3-8.
- 陈子通,闫敬华,苏耀堃,等.模式探空的评估分析及其在强对流天气预报中的应用研究.大气科学,2006,32(2):235-247.
- 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等.短时强降水的多尺度分析以及临近预警.气象,2012,38(8):903-912.