文章编号:1006-7639(2004)-02-0011-06

阿克苏北部绿洲强对流暴雨与冰雹对比分析

杨莲梅[1],杨 涛[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. 新疆专业气象台,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:阿克苏北部绿洲是强对流天气的高发区,虽然强对流暴雨和冰雹均为强对流天气,研究表明它们均发生在副热带锋区上,而影响系统、物理量特征均有显著不同:(1)暴雨的影响系统主要以西方路径的锋区小槽和中亚低槽为多,北支槽最少,冷空气弱且湿;冰雹以锋区小槽和北支槽为主,中亚低槽为少,冷空气相对强且干;(2)强对流暴雨的高空急流比冰雹弱,且存在一支低空偏东急流,冰雹不存在;(3)均位于湿舌区,但暴雨区湿度从低层到中层比雹区大,暴雨区 850~500hPa 均有明显的水汽输送,尤其低空急流输送充沛的水汽。雹区水汽输送较弱,且以天山山区向雹区的局地水汽输送为主。二者均有强的水汽辐合,暴雨区的水汽辐合比雹区强;(4)均有强的上升运动,冰雹 850hPa 的上升运动比暴雨强,700hPa 二者相当,500hPa 暴雨比冰雹略强。(5)均有强的不稳定性,暴雨的不稳定性强于冰雹。

关键词:阿克苏;强对流暴雨;冰雹;物理量;对比分析

中图分类号:P458.1 文献标识码:A

引 言

阿克苏地区位于天山中段南麓,塔克拉玛干沙漠的北缘,位于 78°02′~84°07′E,39°31′~42°40′N,具有独特的山区、绿洲和戈壁沙漠为一体的地理、生态和气候条件,是新疆强对流天气的高发区之一[1]。该地区绿洲是国家"八五"与"九五"期间建设的国家级棉花基地、新疆重要的粮食和名优果品基地,形成了大面积绿洲生态系统,而强对流暴雨和冰雹危害十分严重,如渭干河流域每年冰雹造成的损失平均是农业总产值的 16%。暴雨和冰雹强对流天气一直是国内外研究的重点、难点之一,随着探测手段的进步和一些野外观测试验,在观测事实、理论研究和实际预报方面取得了丰硕的成果[2~8],有了一般的概念模型,但各地也具有各自的特点。阿克苏的独特气候、地理和生态环境特点,强对流暴雨和冰雹有其特点。对该地区的暴雨和冰雹,一些学者作过气候和个例分析[9~11],而对这两种中尺度天气的大气环流背景、影响系统和物理量诊断分析没有系统的对比研究工作,未形成定量的预警趋势指标,致使强对流天气的预警、预报水平不高,防灾减灾能力较弱。近几年随着高分辨率数值模式的应用,提供了强对流天气预警和预报的平台。本文针对该地区北部绿洲的强对流暴雨和冰雹进行大气环流背景、影响系统和物理量的对比分析发现,它们有一些共性和区别,可以作为趋势预报的指标,以提高对该区域强对流暴雨和冰雹的认识,为利用现有的高分辨率数值模式产品进行预报预警提供基础。

1 资 料

新疆为干旱、半干旱地区,具有新疆区域的降水分级[12]标准,即 24h 降水量:T~0.2mm 为微量;0.3~6.0mm 为小量;6.1~12.0mm 为中量;12.1~24.0mm 为大量;>24.0mm 为暴量。新疆区域强对流暴雨标准为[13]:6h 降水量≥12.0mm。根据新疆强对流暴雨标准选取 1998~2001 年(5~8 月)阿克苏、库车和拜城 3 个绿洲代表站 10 次强对流暴雨和 10 次冰雹过程(表 1),进行大气环流背景、影响系统、物理量的对比分析。由于冰雹资料部分为人工防雹资料,不是十分全面,有的仅记录了大概时间,表中标有注释。由于强对流天气为小概率事件,某站出现一次强对流暴雨和冰雹,则作为一次过

收稿日期:2004-05-17;改回日期:2004-06-09

基金项目:国家科技部重大基础研究前期专项(2002cca04600))和新疆气象局青年基金(200105)资助

作者简介:杨莲梅(1969-),女,副研究员,主要从事气候变化和灾害性天气研究. Email:yanglm@idm.cn

程。物理量诊断分析应用850hPa、700hPa、500hPa、300hPa和200hPa的00时和12时(世界时,下同)探空资料进行最优插值客观分析的100km×100km资料。

表1 强对流暴雨和冰雹个例(世界时)

Tab.1 Examples of severe convective rainstorm and hail (GMT)

	强对流暴雨			冰雹	
序号	影响系统	时间	降水量(mm)	影响系统	时间
1	北支槽	1998/7/23/15~18时	15.0	锋区小槽	1999/5/2/12时左右*
2	锋区小槽	1998/8/11/14~18时	13.0	北支槽	1999/5/28/14:40~15:10
3	锋区小槽	1998/8/18/18~20时	16.4	北支槽	1999/5/29/13时左右*
4	中亚槽	1999/6/13/00~06时	12.0	锋区小槽	1999/6/12/15时左右*
5	锋区小槽	1999/7/4/21~24时	34.5	锋区小槽	2000/5/24/19:52~20:00
6	中亚槽	1999/7/11/00~06时	12.0	锋区小槽	2000/5/28/14:40~15:10
7	中亚槽	1999/8/13/12~18时	19.0	北支槽	2000/6/11/13:45~14:05
8	北支槽	2000/6/23/18~24时	18.0	中亚槽	2000/7/17/21:52~21:56
9	锋区小槽	2001/7/26/12~13时	14.0	锋区小槽	2000/8/14/18:44~19:00
10	锋区小槽	2001/8/28/00~06时	13.0	北支槽	2001/5/17/18:06开始*

注:*为人工防雹资料,仅记录了大概时间

2 大尺度环流背景和影响系统对比分析

6月初北半球环流有一次突变,主要的标志是副热带西风急流在这个时期突然北移了10个纬距,以后北半球进入了夏季环流。对新疆而言,500hPa上,开春后副热带锋区逐渐北抬,但北方冷空气活动仍很频繁,南方暖空气势力不是很强,锋区在40°N附近摆动。5月75°E副热带急流中心的北移是急骤的,6月初完成了北跳过程,并稳定控制新疆[12]。夏季,副热带锋区位于天山山区上空,低层大气较暖,锋区活动利于不稳定能量积聚,一旦有适当的扰动及水汽条件,就产生强对流天气。秋季,锋区随冷空气活动逐渐南撤,低层大气的温度迅速下降,故不稳定性大大减弱,强对流天气减少。强对流天气发生在5月中旬~8月上旬,这与副热带锋区的活动是同步的。分析10次强对流暴雨和冰雹过程,发现无论环流形势如何,在40°~45°N范围内,新疆上空均有一支较强的副热带锋区,而其上的一些中小尺度系统是其触发机制。

根据500hPa影响系统的地理位置、温压场结构特征,分别分析10次强对流暴雨和冰雹,则影响系统(表1)可分3类:中亚槽、北支槽和锋区小槽。中亚槽定义为咸海以东的中亚地区35°~45°N内的低槽系统;锋区小槽定义为副热带环流以纬向环流为主,在35°~45°N锋区较强,沿锋区在75°~85°E之间振幅<3纬距的小槽;北支槽定义为在45°~55°N,70°~90°E区域内西北气流上的小槽。强对流暴雨为3次中亚槽、2次北支槽和5次锋区小槽,冰雹为1次中亚槽、4次北支槽和5次锋区小槽。由此可见,强对流暴雨的影响系统以西方路径的中亚槽和锋区小槽为主,冰雹的影响系统以北支槽和锋区小槽为主。对比分析发现:强对流暴雨的影响系统湿度大,冷空气强度弱,高空风速小,500hPa高空图上,天山南麓的喀什、阿克苏、库车和库尔勒探空站中至少有1站的$T-T_d\leqslant5.0$℃,大多数情况$T-T_d\leqslant4.0$℃,各站的T基本上$\geqslant-10$℃,风速大多$\leqslant12$m/s,且暴雨区有明显的风向切变或辐合。北支槽影响时阿克苏、库车和库尔勒的$T-T_d\leqslant5.0$℃,说明北边的冷空气很湿。而冰雹的影响系统湿度小,冷空气强度强,高空风速大,喀什、阿克苏、库车和库尔勒的$T-T_d\geqslant6.0$℃,$T\leqslant-12$℃,大多数情况$T\leqslant-15$℃,风速绝大多数$\geqslant12$m/s,冰雹区有明显的风向切变或辐合。

3 物理量诊断及其对比分析

强对流暴雨和冰雹都是在有利的大尺度环境条件下产生的,它们与一般天气既有共同之处,又有许多显著差异,在特定的环流背景下,只有满足一定的物理条件,才能激发产生强对流天气。从高低空急流、水汽条件、垂直运动和不稳定条件分析它们的异同,不同之处反映了各自的物理机制不同。

3.1 高空急流

强对流暴雨和冰雹发生时在200hPa上35°N~50°N存在一支急流。暴雨:存在一支西风(5次)或西南风(5次)急流,暴雨区位于急流轴出口区左侧,急流中心值$\geqslant40$m/s,最强达57.6 m/s,图1a为1999年8月13日(暴雨日)200hPa风场有一支强的西南急流。降雹也存在西风(4次)、西北风(3次)或西西南风(3次)急流,雹区位于急流轴出口区左侧,急流中心值$\geqslant45$m/s,最强达58.6 m/s,图1b为1999年5月28日(冰雹日)200hPa风场存在一支强的西西南急流。可见高空急流的高空辐散机制对强对流天气是不可少的,降雹的急流强度比暴雨的略强些。

3.2 低空急流

暴雨发生时,850hPa存在一支偏东急流伸到暴雨区,暴雨区主要发生在急流左侧,急流中心值$\geqslant8$m/s,最强达13.4 m/s,且暴雨区有明显的中尺度风切变或辐合,图2a为1999年8月13日00时

850hPa 风场,表明了偏东急流和中尺度风辐合的显著特征。700hPa 偏东急流变为偏西风。降雹时低空急流不存在(图 2b),但 850,700hPa 有明显的中尺度风切变或辐合。配合水汽通量场、水汽通量散度、垂直速度及涡度场,看出低空偏东急流输送了大量的水汽到影响区,在急流的前方有明显的水汽辐合和强上升运动,急流轴的左前方是正切变涡度区,有利于对流活动发生。

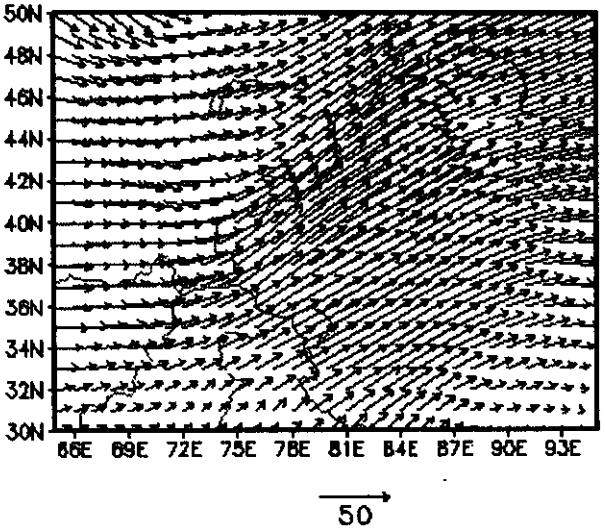


图 1a　1999 年 8 月 13 日(暴雨日)200hPa 风场

Fig. 1a　200hPa wind field on August 13,1999 (rainstorm)

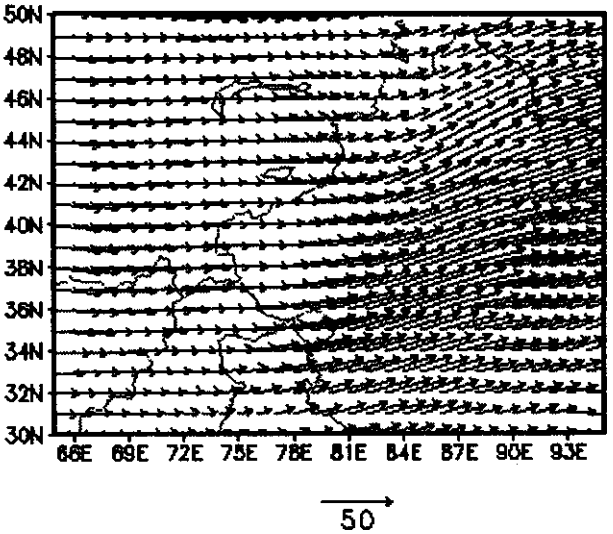


图 1b　1999 年 5 月 28 日(冰雹日)200hPa 风场(单位 :m/s)

Fig. 1b　200hPa wind field on May 28,1999(hail)(unit : m/s)

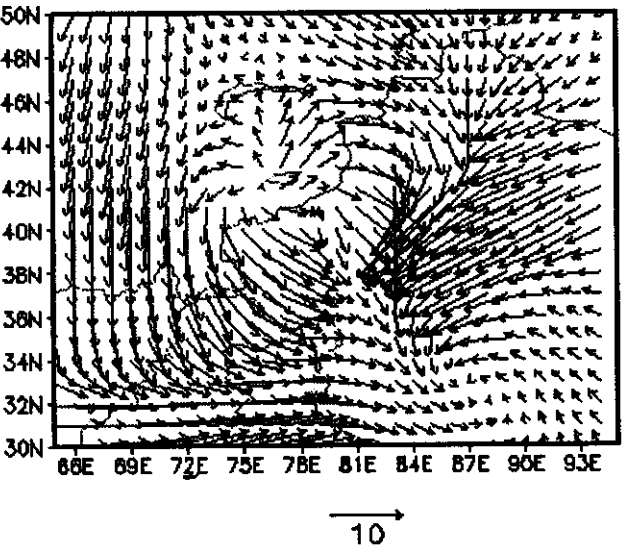


图 2a　1999 年 8 月 13 日 00 时 850hPa 风场

Fig. 2a　850hPa wind field on August 13,1999 (rainstorm)

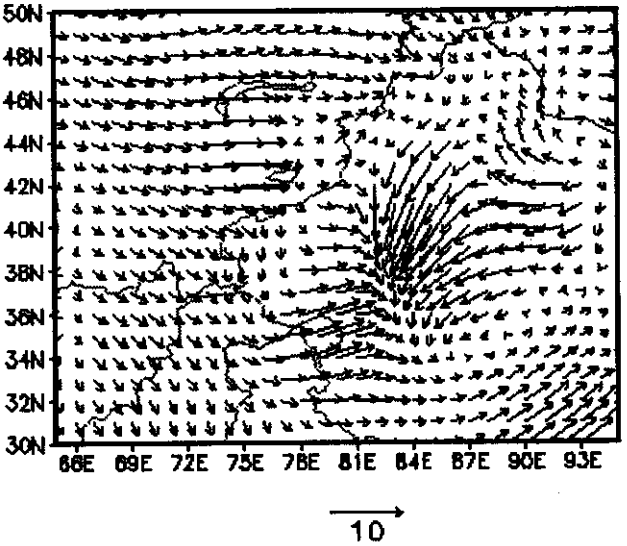


图 2b　2000 年 8 月 14 日 00 时 850hPa 风场(单位 :m/s)

Fig. 2b　850hPa wind field on August 14,2000(hail)(unit :m/s)

3.3　水汽条件

表 2　强对流暴雨与冰雹比湿对比(单位 :$g \cdot kg^{-1}$)

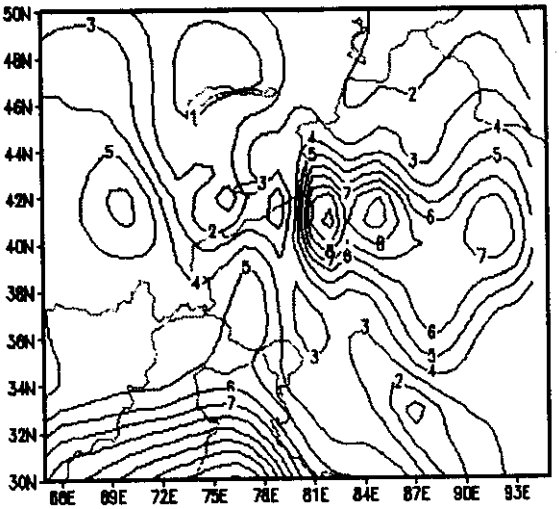
Tab. 2　Specific humidity of severe convective rainstorm and hail(unit :$g \cdot kg^{-1}$)

	强对流暴雨			冰雹		
	850hPa	700hPa	500hPa	850hPa	700hPa	500hPa
范围	8.0~11.9	5.0~7.0	2.0~3.7	4.4~11.5	3.0~6.0	0.4~2.0
平均	9.6	6.0	2.8	6.8	3.8	1.2

分析各层次比湿、水汽通量和水汽通量散度,表 2 为比湿场对比,表明强对流天气发生在局地绝对湿度最大区域内。暴雨情况下湿度从对流层低层到中层均远比冰雹大,且低层远比中层湿度大。暴雨区 850～500hPa 均为湿舌区,而雹区 850,700hPa 为湿舌区,500hPa 则无湿舌区,暴雨区 500hPa 的比湿均 $>2.0 g \cdot kg^{-1}$,而且雹区的比湿均 $<2.0 g \cdot kg^{-1}$。

各层次水汽通量场和风场分析表明，暴雨的低空偏东急流为重要的水汽输送带，携带丰富的水汽到暴雨区(图 3a)，850hPa 水汽通量中心值为 5.0～10.5g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，平均为 7.6g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，500hPa 偏西气流向暴雨区有水汽输送，但水汽通量较小，中心值为 1.4～5.5g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，平均为 3.0g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}。对冰雹而言水汽输送明显弱于暴雨，850hPa 水汽以偏北、偏西方向进行局地水汽输送(图 3b)，以天山山区水汽向南输送到雹区为主，水汽通量中心值为 2.0～4.0g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，平均为 2.6g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}，500hPa 为西风和西北风，雹区及上游为水汽通量≤1.0g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}的均值区，无明显的水汽输送。

水汽通量的大小和方向只能使我们了解水汽的来源和输送量的大小，但就降水的物理过程而言，仅有较强的水汽输送还不够，必须要有水汽辐合。水汽通量散度正是表示在某一空间范围内水汽的辐合或辐散程度的物理量。降雹区和暴雨区 850～500hPa 均为水汽辐合区，整层的水汽辐合必然导致水汽向上输送，从而产生降水，但降雹日 500hPa 水汽辐合较弱，不利于产生较大的降水。其分布特征见表 3，水汽辐合在 850hPa 最强，依次往上减弱，暴雨区的水汽辐合比雹区强。降雹时虽然水汽输送较弱，但在对流层中低层有明显的水汽辐合。



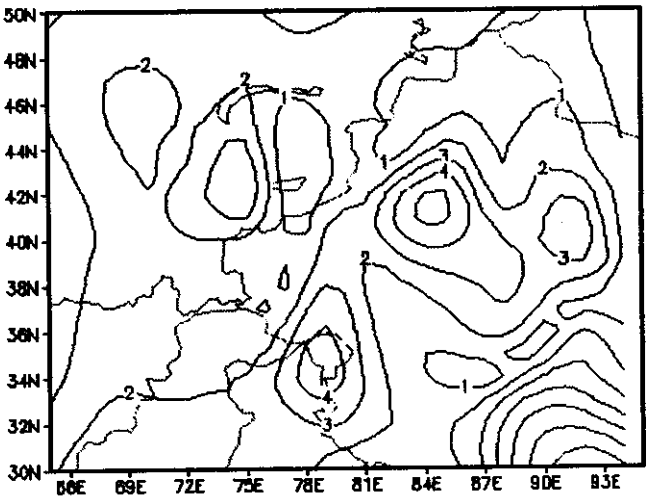


图 3a 1999.8.13.00 时(暴雨)850hPa 水汽通量；图 3b 2000.8.14.00 时(冰雹)850hPa 水汽通量(单位：g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1})

Fig.3a 850hPa vapor flux on August 13,1999 (Rainstorm)；3b 850hPa vapor flux on August 14,2000(Hail) (unit：g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1})

表 3 强对流暴雨与冰雹水汽通量散度对比(单位：10^{-6}g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1})

Tab.3 Vapor flux divergence of severe convective rainstorm and hail(unit：10^{-6}g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1})

	强对流暴雨			冰雹		
	850hPa	700hPa	500hPa	850hPa	700hPa	500hPa
范围	-5.5～-65.5	-3.0～-38.3	-1.7～-14.8	-4.0～-40.0	-2.0～-24.7	0.0～-15.6
平均	-24.6	-16.7	-8.1	-16.5	-13.3	-3.7

3.4 上升运动

这两种强对流天气从 850hPa 到 200hPa 二者均位于上升运动区，上升运动最强在 700～500hPa，暴雨达到 200hPa，而冰雹达到 250hPa 左右。两者垂直速度特征分布见表 4，冰雹发生时其 850hPa 的上升运动比暴雨强，700hPa 二者相当，500hPa 暴雨比冰雹强。

表 4 强对流暴雨与冰雹垂直速度对比(单位：10^{-3}hPa·s^{-1})

Tab.4 Vertical velocity of severe convective rainstorm and hail(unit：10^{-3}hPa·s^{-1})

	强对流暴雨			冰雹		
	850hPa	700hPa	500hPa	850hPa	700hPa	500hPa
范围	0.0～-2.5	-1.0～-7.5	-2.9～-8.7	0.0～-5.1	-1.8～-7.3	-2.8～-7.8
平均值	-1.0	-4.4	-5.0	-1.7	-4.2	-4.6

3.5 不稳定条件

K 指数和沙氏稳定度指数(SI)是表示局地大气层结稳定度的参数，一般用于局地对流天气的预报。K 值愈大表示大气层结愈不稳定，北美统计[14] K 值与雷雨天气关系如下表 5。$SI>0$ 表示气层稳定，$SI<0$，表示气层不稳定。

分析阿克苏地区的强对流暴雨和冰雹的 K 指数和 SI 指数，暴雨和冰雹区均位于 K 指数高值区和 SI 指数低值区，暴雨的 SI 指数为 -0.5～-3.0℃，平均为 -1.8℃，而冰雹的 SI 指数为 -4.0～

2.0℃,平均为 -0.8℃。暴雨的 K 指数为 30～38,平均为 34.3,冰雹的 K 指数为 24～32,平均为 26.5。可见发生暴雨的气团不稳定性远比冰雹强,而吉林省的暴雨比冰雹的层结稳定度略弱[6]。

表 5　北美 K 指数和沙氏稳定度指数(SI)与雷雨天气关系

Tab.5　Relationship between thunderstorm rain and K index and SI index in north American

$K<20$	无雷雨	$SI>+3$℃	不大可能出现雷暴天气
$20<K<25$	可能有孤立雷雨	0℃ $<SI<+3$℃	有发生阵雨的可能
$25<K<30$	可能有零星雷雨	-3℃ $<SI<$0℃	有发生雷暴的可能
$30<K<35$	可能有分散雷雨	-6℃ $<SI<-3$℃	有发生强雷暴的可能
$K>35$	可能有成片雷雨	$SI<-6$℃	有发生龙卷风的危险性

通过上述分析,我们看到了降雹和降暴雨的物理量场的差异和特征,这些差异和特征为冰雹和暴雨的预警预报提供了一定的依据,并从中看到降雹是动力因子和不稳定能量占主导地位,而暴雨除这两者外,水汽条件起相当重要的作用。

4　小　结

上述分析表明阿克苏北部绿洲强对流暴雨与冰雹在大气环流背景、影响系统和物理量特征方面具有显著的异同,这些指标对它们的监测、预警具有重要的意义,表现在以下几方面。

(1)它们均发生在副热带锋区上,暴雨的影响系统主要以西方路径的锋区小槽和中亚低槽为多,北支槽最少,冷空气弱且湿;冰雹以锋区小槽和北支槽为主,中亚低槽为少,冷空气相对强且干。

(2)均存在高空急流,影响暴雨的急流中心值≥40m/s,而冰雹急流中心值≥45m/s;暴雨时 850hPa 存在一支低空偏东急流,而冰雹却无低空急流。

(3)暴雨区和雹区均位于湿舌区,暴雨 850～500hPa 均有明显的水汽输送,低空急流输送充沛的水汽到暴雨区。而冰雹水汽输送较弱,且以天山山区向雹区的局地水汽输送为主,二者 850～500hPa 均有强的水汽辐合,暴雨区的辐合强度大于雹区。

(4)均有强烈的上升运动,冰雹的 850hPa 的上升运动比暴雨强,700hPa 二者相当,500hPa 暴雨比冰雹强。均有强的不稳定性,暴雨的不稳定性强于冰雹。

参考文献:

[1] 张家宝,邓子风.新疆降水概论[M].北京:气象出版社,1987.373-382.

[2] 徐海明,何金海,周兵.夏季长江中游大暴雨过程中天气系统的共同特征[J].应用气象学报,2001,12(3):317-326.

[3] 丁一汇.暴雨与中尺度气象学问题[J].气象学报,1994,52(3):274-283.

[4] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,1991.392-590.

[5] 陆汉城.中尺度天气原理和预报[M].北京:气象出版社,2000.251-288.

[6] 王晓明,谢静芳,王侠飞.强对流天气的分析及预报[M].北京:气象出版社,1992.60-66,131-141.

[7] 胡伯威,崔春光,房春花.1998 年 7 月 21～22 日鄂东沿江连日特大暴雨成因探讨[J].大气科学,2001,25(4):479-491.

[8] 徐夏囡."98.7"武汉及其附近地区特大暴雨中若干观测事实的分析[J].应用气象学报,2001,12(3):327-336.

[9] 伍志方,孙祥彬.渭干河灌区冰雹的气候特征及成因初探[A].高子毅,张建新,胡寻伦,等编.新疆云物理及人工影响天气文集[C].北京:气象出版社,1999.113-118.

[10] 张莉,牛清明.阿克苏一次特大暴雨分析[J],新疆气象,2002,25(3):12-13.

[11] 张春良,伍志方.新疆库沙新北部一次雹云回波特征分析[A].高子毅,张建新,胡寻伦,等编.新疆云物理及人工影响天气文集[C].北京:气象出版社,1999.189-192.

[12] 张家宝.新疆短期天气预报指导手册[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986.24-28.

[13] 杨涛,杨莲梅.新疆强对流暴雨的气候特征和概率分布模式研究[J].灾害学,2003,18(1):47-52.

[14] 中国气象局科教司.省地气象台短期预报岗位培训教材[M].北京:气象出版社,1998.225-226.

Comparative Analysis of Severe Convective Rainstorm and Hail in North Oasis of AKESU

YANG Lian－mei[1], YANG Tao[2]

(1. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China;
2. Xinjiang Professional Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China)

Abstract: Severe convective weather is more frequent in north oasis of AKSU. Thought both rainstorm and hail are severe convective weather, their effect systems, features of physics quantities are remarkable different. (1) Cold air impacting on rainstorm is wet and weak, but it is strong and dry which impacts on hail; (2) The upper troposphere jet is weaker under rainstorm condition than that under hail condition, and there is an east lower troposphere jet where there is a rainstorm; (3) They are both in wet tongue, but the humidity in rainstorm area is higher than that in hail area, and there is obvious water vapor transmission from 850hPa to 500hPa, especially lower jet transports adequate water vapor to rainstorm area. There are strong moisture convergence in rainstorm and hail area, and it is stronger in rainstorm area; (4) There are strong ascending motion and severe instability, the ascending motion is stronger at 850hPa in hail area, but it is stronger at 500hPa in rainstorm area, and the instability is more severe in rainstorm area.

Key words: AKESU; severe convective rainstorm; hail; physics quantity; comparative analysis.