

傅朝,杨晓军,周晓军,等. 2015. 2013 年 6 月 19—20 日甘肃陇东南暖区暴雨多普勒雷达特征分析. 气象, 41(9):1095-1103.

2013 年 6 月 19—20 日甘肃陇东南暖区 暴雨多普勒雷达特征分析^{* 1}

傅 朝¹ 杨晓军¹ 周晓军² 刘维成¹

1 甘肃省兰州中心气象台,兰州 730020
2 甘肃省兰州市气象局,兰州 730020

提 要: 应用天水多普勒雷达资料,分析了 2013 年 6 月 19—20 日甘肃陇东南地区大暴雨过程中暖区降水时段的雷达反射率因子、径向速度及 PUP 产品特征。结果表明,雷达反射率因子特征与我国东部、南部的暖区暴雨特征极为相似,局地强回波的列车效应明显,强回波一般低于 45 dBz,且主要分布于 0℃ 层以下;雷达径向速度反映出对流层中低层的暖平流、风场辐合结构和低空急流的维持有利于强回波及高频次列车效应的产生; γ 中尺度涡旋的出现对强降水的临近预报具有明显的指示意义。

关键词: 暖区暴雨, 多普勒雷达特征, 回波, 反射率因子

中图分类号: P458,P412 **文献标志码:** A **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 09. 006

Analysis on Doppler Radar Characteristics of Warm Area Rainstorm in Southeastern Gansu During 19—20 June 2013

FU Zhao¹ YANG Xiaojun¹ ZHOU Xiaojun² LIU Weicheng¹
1 Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020
2 Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 730020

Abstract: Based on Tianshui Doppler radar data, characteristics of radar reflectivity, Doppler velocity and PUP products during a warm area rainstorm in Southeastern Gansu Province in 19—20 June 2013 are analyzed. The results show that the characteristics of radar reflectivity are extremely similar with the characteristic of warm-area torrential rains in eastern and southern China. The “train effect” of local strong echo is obvious. Strong echoes are generally lower than 45 dBz, and mainly distribute in below 0℃ layer. It was advantageous to the generation of strong echo and high-frequency “train effect” that warm advection and wind convergence structure in boundary layer to middle-lower level, low-level jet maintaining showed on Doppler velocity characteristics. The meso- γ scale vortex has indicative significance for the nowcasting of severe precipitation.

Key words: warm area rainstorm, characteristics of Doppler radar, echo, reflectivity

引 言

少雨是固有气候特征。绝大部分地方年平均暴雨日数小于 0.1 d,即使在降水较多的甘肃省陇东南地区年平均暴雨日数也只是介于 0.1~0.4 d(李栋梁等, 2000;孔祥伟等,2012)。陇东南地区的多数暴雨过

甘肃省深处内陆,远离海洋,水汽含量少,干旱

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306006)和中国气象局新技术推广项目(CMAGJ2014M54)共同资助
2014 年 8 月 5 日收稿; 2015 年 7 月 20 日收修定稿
第一作者:傅朝,主要从事灾害性天气事件的诊断分析. Email: dry52889@hotmail. com

程是在一定的大尺度环流形势下,形成冷暖交汇,具有强烈的水汽输送、不稳定能量输入和持续的上升运动,锋区内有中尺度系统发展。另外统计发现还有少数陇东南暴雨并未出现大规模的冷暖交汇,而形成在暖区内部的高湿和不稳定区域之中。在西北地区暴雨的产生往往伴随对流系统发展,关于对流性降水,俞小鼎等(2012)指出雨强主观判别主要考虑两种对流类型:大陆强对流型和热带对流型,并明确指出相当一部分中高纬度对流性降水系统属于热带型,热带对流型强回波重心较低,具有更高的降水效率。中纬度内陆地区大气暖区性质的维持是发生的必要条件,因此热带对流降水型的发生也是暖区中出现暴雨的最主要原因。周秀骥等(1998)指出华南地区暴雨往往不是发生在锋上或锋后,特别是强暴雨,往往发生在锋前暖空气一侧,因此亦称之为暖区暴雨。而在我国北方,暖区暴雨虽然较少有人提及,概念也未明确,但在日常预报业务中,往往将西北地区东部的冷锋前暴雨或副热带高压边缘暴雨认为是暖区暴雨。暖区暴雨由于业务模式尚不能分辨深厚湿对流过程,对湿对流都采用参数化方法处理,很难报好暖区发生的对流(俞小鼎,2012),加之暴雨发生前天气尺度扰动的信号弱,业务预报中容易出现漏报(张晓美等,2009)。暖区暴雨在其相对高发区的华南、华东地区有较多的个例总结,通过对中尺度系统发生发展机理和大暴雨与特大暴雨主要是暖区降水的观测事实的研究表明,暖区中暴雨强度大,降水集中,具有明显对流性质等特点,多普勒雷达回波特征具有层积混合云和强对流云共同影响的特征,强回波呈带状分布,暖区内中尺度辐合线维持将十分有利于列车效应发生(赵玉春等,2008;夏茹娣等,2009;柯文华等,2012),对流的云具有低质心结构和高效降水的特征(郝莹等,2012),其回波顶高较低,一般情况下,动力条件较弱,更得力于强盛的暖湿气流输送(张京英等,2007)。由于甘肃省新一代多普勒天气雷达观测资料年代较短,虽然应用雷达资料对中尺度系统的云物理学及其动力机制研究取得了一些研究成果(吴爱敏,2009;李国昌等,2005;刘治国等,2008;康凤琴等,2004;段鹤等,2014;井喜等,2014),由于暖区暴雨个例极少,对甘肃省暖区暴雨个例的多普勒雷达特征分析和总结较为欠缺。2013年6月19—20日甘肃省陇东南暴雨、大暴雨天气过程是典型的冷锋前暖区暴雨,本文利用天水新一代多普勒天气雷达观测资料,分析了多普勒雷

达反射率因子和速度特征,总结了甘肃省暖区暴雨临近预报着眼点。

1 降水实况和影响系统

2013年6月19—20日甘肃陇东南地区发生的大暴雨过程,是2013年甘肃省境内发生的最大的一次降水过程,甘肃天水、陇南、平凉部分地方出现暴雨,其中天水、陇南两市局部地方出现大暴雨,共145个乡镇出现暴雨,117个乡镇出现大暴雨。暴雨中心位于天水市(图1),过程降水量(08—08时)最大值为天水麦积区的仙人崖297.6 mm,降水主要集中在19日21时至20日04时,其中最大雨强出现在20日00—01时,麦积山观测站达到降水量 $40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。陇东南地区多地受灾,受灾人口10.1万人,农作物受灾面积1.3万 hm^2 ,造成直接经济损失21.7亿元。其中,位于暴雨中心的天水市北道区、麦积区受灾最为严重。

2013年6月19日20时500 hPa高度场和温度场(图2a)可以看到,亚欧中高纬呈两槽一脊型,甘肃在西伯利亚高压南部、副热带高压西北侧,新疆槽向南加深,高空锋区进入青海西部;青藏高原主体为暖性气团,甘肃中东部为副热带高压西侧的西南气流控制,西南气流不仅为暴雨提供了水汽,由于暖平流的作用,将导致大气中低层温度升高,产生能量聚集。在700 hPa上,甘肃南部、四川盆地北部有一暖性低涡(图2b),该区域露点温度达 14°C ,接近饱和。此次暴雨过程出现在冷空气前部相当距离的584 dagpm等高线和700 hPa偏南急流左侧的暖区内,是陇南地区的低涡及其延伸至甘肃中部暖式切变

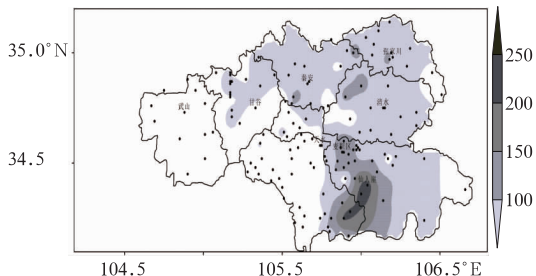


图1 2013年6月19日08时至20日08时天水观测站和自动雨量站累积降水量(单位:mm)

Fig. 1 The observed accumulated precipitation amount by Tianshui Observation Station and auto rain gauges from 08:00 BT 19 to 08:00 BT 20 June 2013 (unit: mm)

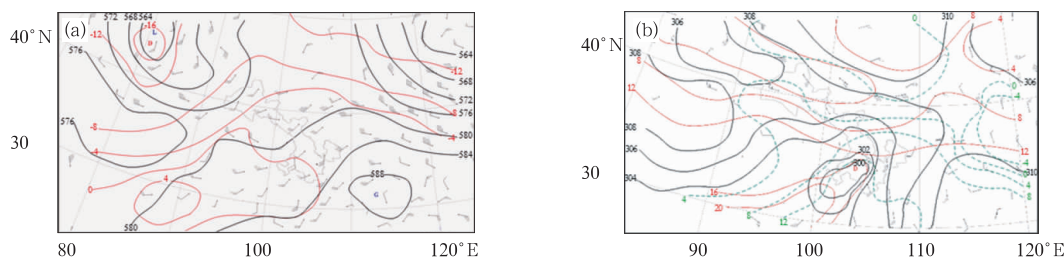


图 2 2013 年 6 月 19 日 20 时(a)500 hPa 高度场(黑色实线)、温度场(红色实线)和风场(风向杆),
(b)700 hPa 高度场(黑色实线)、温度场(红实线)、露点温度场(绿色虚线)和风场(风向杆)

Fig. 2 The upper-air observation at 20:00 BT 19 June 2013

(a) height (black solid line), temperature (red solid line) and wind (barb) at 500 hPa,
(b) height (black solid line), temperature (red solid line), dew point temperature
(green dotted line), and wind (barb) at 700 hPa

(倒槽)为影响系统的暴雨过程。

2013 年 6 月 20 日 08 时 700 hPa 高度场和风场(图略)表明,暖式切变(倒槽)已东移至陕西关中—陕南一线,切变后部陇东南地区已转为偏北气流控制,说明了此次过程是暖区降水为主导的暴雨过程。

2 资料选取

使用 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达(CIN-RAD\CD)的基数据、组合反射率因子产品以及甘肃省区域自动气象站雨量资料,其中 20 日 04—05 时 2 小时雷达资料缺失。

3 雷达反射率因子特征

6 月 19 日 18 时,大于 40 dBz 块状强回波在成县出现,20 时开始(图 3a),沿低层暖式切变线(倒槽)东侧,大面积的带状层积混合回波已经形成并不断向北延伸,其中分散有大于 35 dBz 强回波呈南北带状,其移动、传播方向和回波长轴方向相近,基本沿成县—麦积区、秦城区—张家川—庄浪、华亭一线,自南向北移动、传播。到 20 日 02 时左右大于 35 dBz 强回波带状分布维持,影响区域持续扩展(图 3b~3d)。

20 日 00 时(图 3c),地面冷锋进入静宁,雷达站北侧有块状强回波生成,随时间增强,并不断南压。03:30(图 3e),冷锋东移南压至天水市甘谷—武山一线,相应雷达站西北侧 60 km 处积云对流最强回波达到 55~60 dBz,同时,雷达站东侧暖区带状回波形态转变,呈现为陇南市东北部、天水市中东部、

平凉市南部的大片层云回波(≤ 25 dBz),其中,大于 35 dBz 回波区面积大幅减少,且零星分布。

因此可以 20 日 03:30 冷锋进入天水市境内作为时间界线,之前为暖区降水时段,之后为冷锋降水时段。区域自动站逐小时降水量表明(图略),在冷锋降水时段,伴随冷空气深入,降水范围扩大,也有近 4 小时左右持续时间,但普遍雨强大幅减小,具有明显的层云降水特征,虽然其中也分散有强对流发展,但由于强回波尺度小,生命史短,其降水效率远远小于暖区降水时段。

3.1 暖云回波特征

整个降水时期,较强回波主要分布在深厚的暖云层空间,低质心暖云降水特征明显,图 4 给出了两个回波较旺盛时期雷达反射率因子垂直剖面,最大反射率因子为 40~45 dBz 的强回波中心高度一般低于 4 km(距雷达高度)。以当天 20 时武都观测站探空代表陇东南地区的大气层结状况,如图 5 所示,地面到 -10℃ 高度层的温度直减率较小,约为 $5.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$,对流有效位能偏弱,为 $477\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,但湿层较厚,从抬升凝结高度以上超过 3 km 接近饱和,风向由底层的东南风至中层的偏西风顺转,风矢量差小于 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。温度直减率不大,低层水汽非常丰富,对流有效位能 CAPE 区域呈狭长形,这样的环境背景条件有利于强降水的发生,并且同时伴随强冰雹和灾害性雷暴大风的可能性不大(俞小鼎,2012)。抬升凝结高度到 0℃ 层之间的暖云层厚度超过 3700 m,在暖云层区间密布大于 35 dBz 回波;0℃ 高度高于 500 hPa 等压面,达到 5500 m 以上,强回波质心(>40 dBz)低于 0℃ 层,说明大的

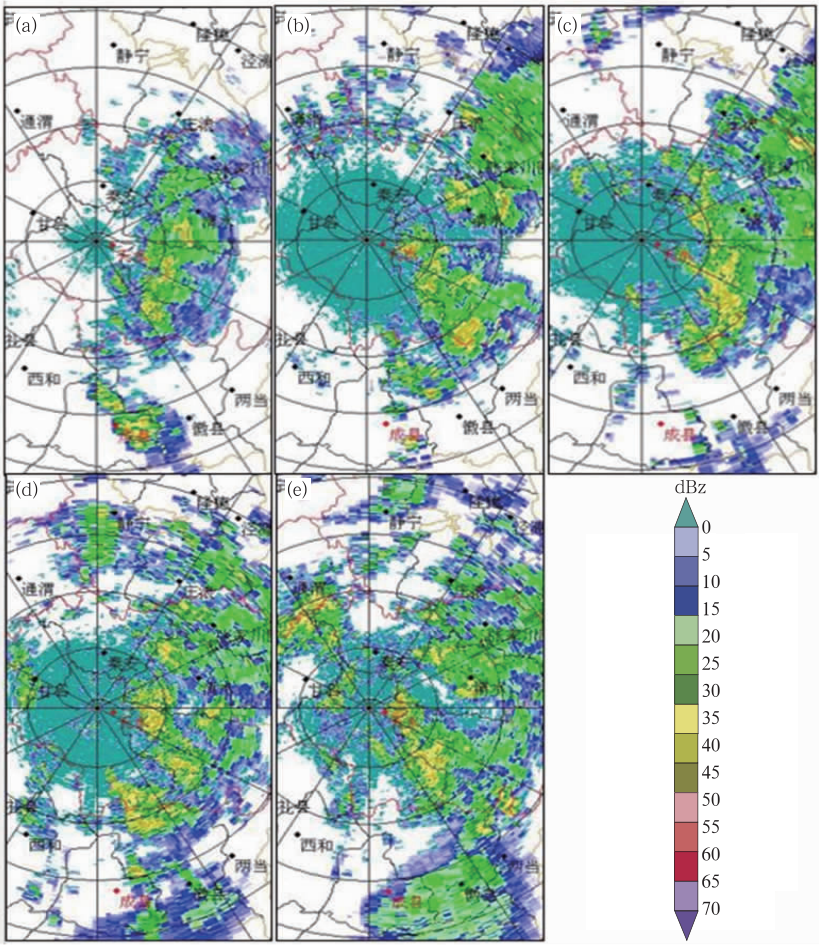


图 3 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达 1.5°仰角反射率因子(距离圈:15 km)

(a) 19 日 20:00, (b) 19 日 22:00, (c) 20 日 00:00, (d) 20 日 02:00, (e) 20 日 03:30

Fig. 3 Radar reflectivity at elevation 1.5° of Tianshui Radar (range ring: 15 km) from 19 to 20 June 2013

(a) 20:00 BT 19, (b) 22:00 BT 19, (c) 00:00 BT 20, (d) 02:00 BT 20, (e) 03:30 BT 20

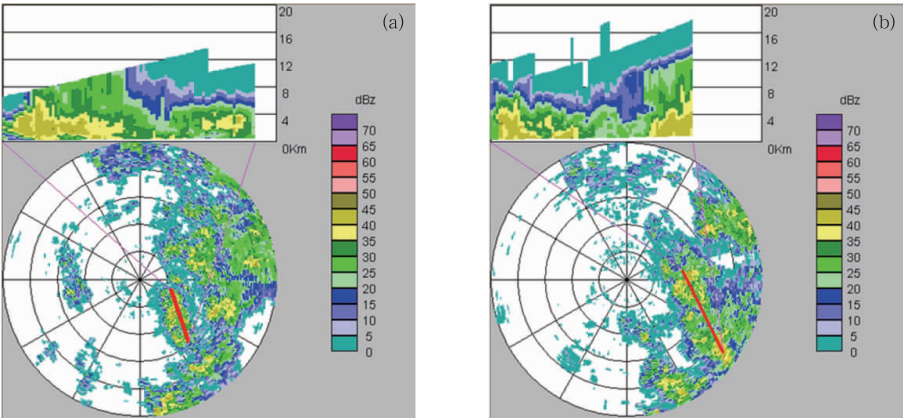


图 4 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达反射率因子 75 km 范围 CAPPI 和 VCS 剖面
(剖面所在位置对应红实线)

(a) 19 日 22:30, (b) 20 日 01:30

Fig. 4 CAPPI of reflectivity in the 75 km range of Tianshui radar and
vertical cross-section along the red lines from 19 to 20 June 2013

(a) 22:30 BT 19, (b) 01:30 BT 20

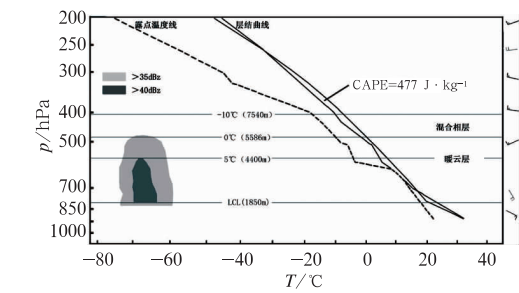


图 5 2013 年 6 月 19 日 20 时武都站
不稳定层结分布和天水雷达反射率
因子>35 dBz 垂直分布示意图

Fig. 5 Instability stratification of Wudu
Observation Station at 20:00 BT 19 June 2013
and schematic diagram of vertical distribution
of Tianshui radar reflectivity over 35 dBz

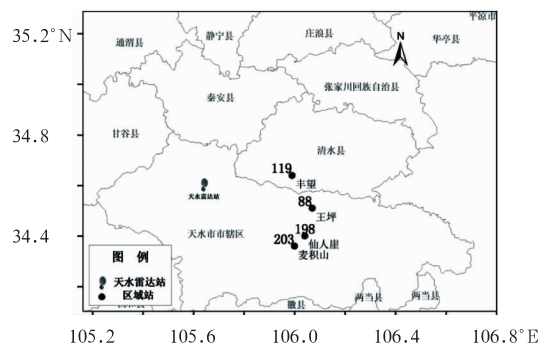


图 6 天水雷达站和麦积山、仙人崖、王坪、
丰望等 4 个区域自动气象站点位置
及其 20—08 时累积降水量示意图

Fig. 6 Location diagram of Tianshui Radar
and four auto rain gauges at Maijishan,
Xianrenya, Wangping and Fengwang as well
as the accumulated precipitation from
20:00 BT 19 to 08:00 BT 20 June 2013

反射率因子主要由液态雨滴产生;另外,0℃层以上反射率因子迅速减小也说明中等偏低强度的对流有效位能有利于增加气块中水汽通过暖云层形成降水的时间,抑制了大量水汽进入高层,降低了冰晶和大冰雹形成可能。

3.2 组合反射率因子格点产品资料插值站点数据分析

在暖区降水时段,距雷达东南方向 40~60 km 范围,天水市麦积区、北道区交界的南部强回波影响区域较广、影响时间较长,此区域也是本次过程的降水中心,所以,以下将通过选取该区域自动气象站点位置相映的组合反射率因子产品资料格点插值数据讨论降水量变化细节。

3.2.1 站点的选取和资料预处理

选择麦积山、仙人崖、王坪、丰望等 4 个区域自动气象站(图 6),仙人崖、麦积山位于距雷达东南约 50 km 处降水中心(>200 mm),王坪、丰望两站位于降水中心之外,从 19 日 20 至 20 日 04 时 8 小时降水量表明两组站点有 100 mm 明显的差异;4 站均位于风景区管理处和乡(镇)政府所在地,观测质量可靠;重要的是,4 站几乎同在距雷达 50 km 距离圈附近,考虑到雷达探测的雨衰减(俞小鼎等,2006)订正因素,降水区域的同一距离圈具有较一致的观测质量,有利于进行对比分析。

PUP 产品组合反射率因子(CR)水平分辨率为 1 km×1 km,用 4 站点的经纬度信息(经度偏差<10 m),通过距离反比法将上述两产品资料进行插值。

3.2.2 各站点组合反射率因子和降水量对比分析

从 4 站 19 日 20 时到 20 日 03 时 7 h 期间组合反射率时间变化曲线(图 7)可分析得出如下结论:最大反射率因子均小于 45 dBz,最大反射率因子 44 dBz,23:00 出现在丰望,这与全国多个个例总结(张京英等,2007;谌芸等,2012;周雨华等,2006)结论相似,即:暖区暴雨层积混合云系中尺度对流回波强度在 35 dBz 以上,但强中心值一般小于 45~50 dBz;仙人崖、麦积山组合反射率因子波动形态具有较高的一致性,其波段振幅极为相似,位相大致有 10 min 差异,各波段平均麦积山早于仙人崖约 10 min 达到峰值,仙人崖位于麦积山东北方向,直线距离约为 7 km,符合强回波自南向北移动、传播的观测事实。

仙人崖、麦积山、王坪等 3 站大于 35 dBz 的峰值时段出现 6 次以上,丰望出现 7 次,强对流的影响频次高,达到 1 次·h⁻¹,具有十分显著的列车效应;各站各波段大于 35 dBz 的持续时间一般为 30 min 左右,影响系统 γ 中尺度特征明显,其中,丰望站表现更为显著。

麦积山、仙人崖和王坪 3 站先后出现了 1 次大于 35 dBz 持续 1 h 以上的时段,分别为:23:12—00:24、23:24—00:30、23:54—01:00,结合雷达观测可以确定,在上述时段有大于 30 km 的 β 中尺度对流系统在麦积山—仙人崖一线生成,并发展延伸到王坪一带,受其影响,麦积山、仙人崖、王坪三站 00

和 01 时的 1 h 降水量分别为 39、40 和 30 mm 以及 38、13 和 15 mm,其中,麦积山、仙人崖两站都达到了 1 h 的最大雨强,而王坪明显降水偏小。此后到 03:30 的 3 h 时间,麦积山、仙人崖又有 3 次强回波影响,但由于强回波影响的时间尺度明显偏小,总体降水呈减弱趋势。丰望站 2 次出现 1 h 降水量>25 mm 的强降水,00 时 32 mm 和 01 时 29 mm,分别对应着 22:42—23:18 回波大于 40 dBz 和 02:12—

02:54 回波大于 35 dBz 的 2 个时段,2 个时段均超过 30 min。根据上述分析,仙人崖、麦积山、丰望 3 站降水量与回波强度及强回波时间、空间尺度有较好的关联。王坪站则呈现出降水效率偏低的现象,王坪位于河谷地带川区腹地,其他 3 站位于山区,分别是偏南急流的背风坡和迎风坡,其降水差异的地形影响因素需进一步研究。

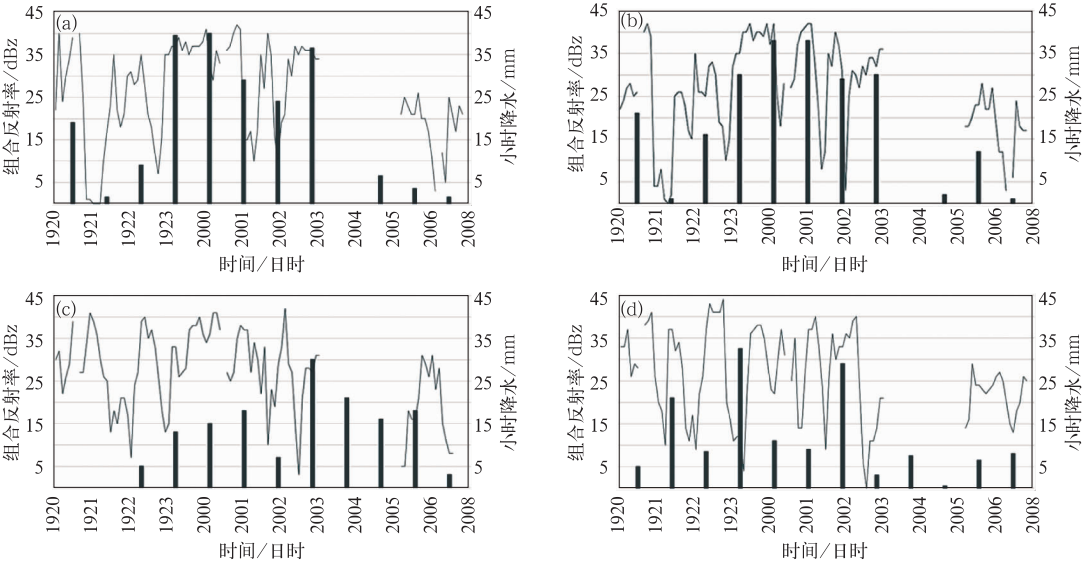


图 7 与区域自动气象站位置对应的组合反射率因子逐 6 min 变化曲线和 1 h 降水量
(a) 麦积山, (b) 仙人崖, (c) 王坪, (d) 丰望
Fig. 7 Variation curves with 6 min interval of composite reflectivity corresponding to the position of regional automatic weather station and one-hour rainfall
(a) Majishan, (b) Xianrenya, (c) Wangping, (d) Fengwang

4 多普勒速度特征

此次大暴雨过程在大气环境十分有利的条件下发生、发展并得以维持的,暴雨发生时天水雷达周围有较大范围层积混合云分布,因此多普勒速度基本能够反映大暴雨发生地的风场结构,以下将主要从大尺度连续风场、中尺度不连续风场的径向速度观测出发对暖区暴雨时段的风场特征展开讨论。

4.1 径向速度的冷暖平流和散度特征

图 8 为 19 日 21 时至 20 日 03 时逐 2 h 的 75 km 1.5°仰角径向速度,可发现以下特征:风向随高度以偏东风转东南风转偏南风的顺转结构的正 S

形态;45 km 距离圈内 0 速度线弯向正速度区的顺转程度大于弯向负速度区的顺转程度(负速度面积大于正速度区面积)。同时,2.4°~4.3°等 3 个仰角层也都具备以上特征(图略),除此之外,75 km 范围,各仰角正负速度区分布及风向、风速变化具有较高的一致性,呈现较大尺度连续风场特征(俞小鼎等,2006)。20 日 03 时距离雷达 60 km,270°~330°范围冷锋系统进入,标志着暖区降水阶段即将结束。
天水雷达站海拔高度为 1673 m,根据测高公式(张培昌等,2000),0~75 km 范围内 1.5°~4.3°等 4 个仰角扫描高度范围大约在海拔 1.7~6 km 区间,反映出地面到近 6 km 高度为深厚的暖平流影响,其厚度约为 4 km;另外,在距离地面约 2 km 边界层具有明显辐合风场结构。

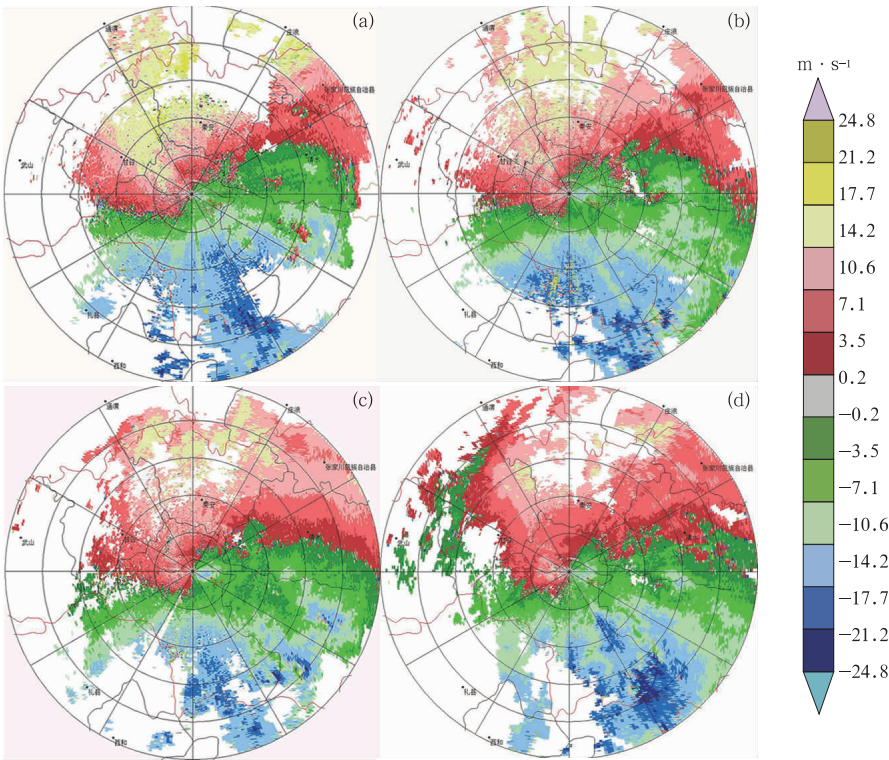


图 8 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达 75 km 范围 1.5°仰角径向速度
(a) 19 日 21 时, (b) 19 日 23 时, (c) 20 日 01 时, (d) 20 日 03 时
Fig. 8 Radial velocity in the 75 km range at elevation 1.5° of Tianshui Radar from 19 to 20 June 2013
(a) 21:00 BT 19, (b) 23:00 BT 19, (c) 01:00 BT 20, (d) 03:00 BT 20

4.2 低空急流

甘肃作为深处内陆省份,产生暴雨最根本的条件就是充分的水汽供应,偏南低空急流是暴雨水汽输送的主要来源。孙继松(2014)在云物理过程与降水天气动力学过程的关系论述中也阐明了“为对流

云提供水物质和能量补充,这一过程多数情况下依赖天气尺度或中尺度低空气流或急流”。所以,在降水已经开始的情况下,可以通过多普勒天气雷达径向速度监视低空偏南急流的变化,基本可以判断降水的持续时间(俞小鼎等,2006)。图 9 反映出 1.5°仰角距离雷达约 45~60 km 的 150°方位出现≥

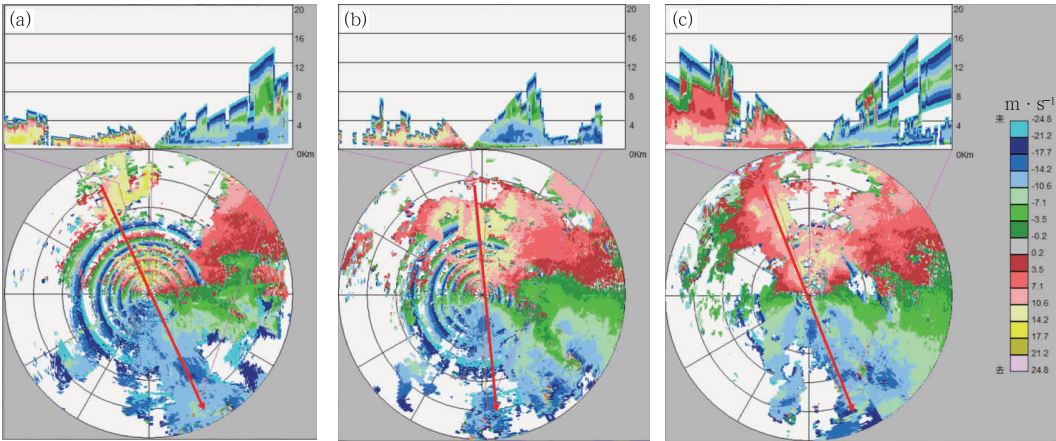


图 9 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达 75 km 范围径向速度 CAPPI 和 VCS(剖面所在位置对应红实线)
(a) 19 日 21:10, (b) 20 日 00:23, (c) 20 日 03:04
Fig. 9 CAPPI of radial velocity in the 75 km range of Tianshui Radar and vertical cross-section along the red line from 19 to 20 June 2013
(a) 21:10 BT 19 June, (b) 00:23 BT 20 June, (c) 03:04 BT 20 June

17.7 m · s⁻¹ 负速度中心,负速度中心以雷达站点中心对称区域也同时存在相等等量级的正速度区,正、负速度中心还分散出现速度模糊点。另外,正、负速度中心区边界模糊,形态较为松散,可能的原因是,偏南急流在复杂地形作用下出现乱流、湍流现象。

以通过雷达站点南北向 120 km 长度的线段做径向速度的垂直剖面(图 9),可以看到,距离地面 1~3 km 存在一支较大尺度(>100 km),径向速度绝对值>12 m · s⁻¹,中心值>17.7 m · s⁻¹的区域几乎对称分布于雷达站南北两侧,雷达站南部的速度大值中心较北部多而分散,是否与南部更为复杂的地形有关,需进一步验证。观测表明,此低空急流对天水地区的影响持续时间达 8 h(19—03 时)以上。深厚持久的低空急流是此次大暴雨过程的主要径向速度特征,这一特征与我国其他地区暴雨过程研究的(张京英等,2005;苗爱梅等,2010;王啸华等,2012;王福侠等,2014;周明飞等,2014;刘治国等,2008)的相关结论呈现高度相似。

4.3 γ 中尺度涡旋

如前所述,大约在 700 hPa 附近(垂直厚度 1~3 km)的偏南急流的加强和维持,在中高层风向基本无

变化的情况下,加大了垂直风切变,俞小鼎(2012)指出,强的垂直风切变容易导致 γ 中尺度涡旋的形成,中尺度对流会呈现更高度的组织性,将呈现强的上升气流、更大的雨强和更长的对流单体生命史。

本次大暴雨过程,在天水雷达低仰角观测中共有过两次 γ 中尺度涡旋的出现,出现时段分别是 19 日 20:10—21:10 和 20 日 01:25—01:55(图 10),两次均具有“突然出现,逐渐消失”的特征。第一次出现具有明显的正负速度对的“中气旋”结构特征,第两次反映不明显,但两次的正速度区初现即为近似椭圆形 3~7 m · s⁻¹ 区域,边界整齐,3 个低仰角高度(0.5°、1.5°和 2.4°)都有反映,其直径不足 4 km,面积随仰角高度增加而减小。此系统水平尺度小于 10 km,两次均以 5~10 km · h⁻¹ 的速度缓慢向北移动,其正速度区逐渐演变为无规则形状且边界模糊,直至消失。两次 γ 中尺度涡旋出现的位置几乎相同,均位于距雷达 45 km、方位 120°处的麦积山—仙人崖一带,对应麦积山—仙人崖一带降水实况,可以表明涡旋出现位置和维持时间,对该地区对流系统的加强和生命史的延长,从而导致 19 日 22 时至 20 日 03 时连续 6 小时出现>25 mm · h⁻¹ 强降水具有十分显著的指示意义。

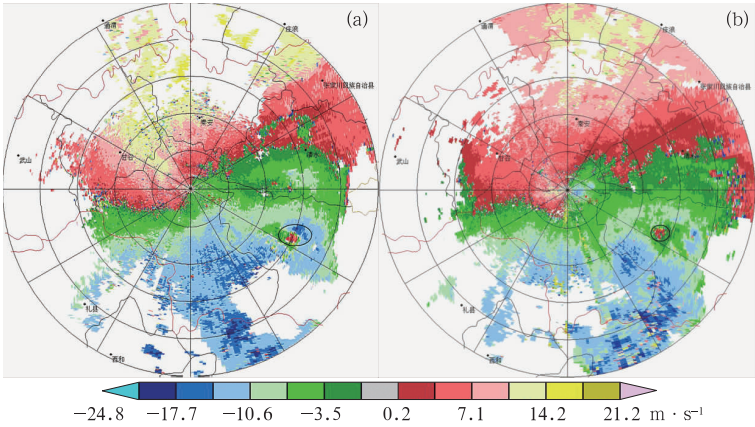


图 10 2013 年 6 月 19—20 日天水雷达 75 km 范围 1.5°仰角径向速度(逆风区位于黑色椭圆内)

(a) 19 日 20:48, (b) 20 日 01:36

Fig. 10 Radial velocity in the 75 km range at elevation 1.5° of Tianshui Radar from 19 to 20 June 2013

(Adverse-wind region located in the black oval)

(a) 20:48 BT 19, (b) 01:36 BT 20

5 结论与讨论

本次暖区暴雨过程发生在青藏高原东部较高海

拔复杂地形条件下的陇东南地区,其雷达特征反映出一定的地域性特点,如系统性偏南急流在雷达径向速度上表现为大风速区不连续分散分布;强回波尺度小、生命史短,并且在不同地点相似的回波强

度、强回波的时空尺度的影响存在很大的差异。

在雷达反射率因子方面,其特征与我国东部、南部的暖区暴雨特征较为相似,其回波强度一般在45 dBz以下,从垂直结构来看,强回波质心分布在0℃层以下深厚的暖云层。通过所选站点资料对比分析表明,局地强回波影响的列车效应频次高、持续时间长,局地回波强度、强回波的时空尺度与局地降水效率有着很好的对应关系。

陇东南地区位于副热带高压西北侧,雷达径向速度观测揭示了中低层暖平流、辐合及低空偏南急流较长时间(>8 h)持续,因此大气不稳定能量能够维持,水汽不断补充,并有利于复杂地形下中尺度对流不断触发。在偏南急流作用下, γ 中尺度涡旋两次出现在相对于偏南急流背风坡的仙人崖—麦积山一带,其出现预示着对流的发展和持续,对于暴雨预警有很好的指示意义。因此,在强降水回波已经生成的情况下,基于雷达观测资料的暖区暴雨强降水的维持和强降水中心的临近预报中,应特别关注边界层—低层风场暖区特征变化、急流强度和尺度,以及中尺度涡旋的出现。

以上仅为一次个例分析,再加上复杂地形的作用对分析带来很多不确定因素,上述结论不一定具有普适性,陇东南地区暖区暴雨的雷达特征还需积累相似天气个例,进一步深入研究。

参考文献

- 湛芸,孙军,徐珺,等.2012.北京721特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考.气象,38(10):1255-1266.
- 段鹤,夏文梅,苏晓力,等.2014.短时强降水特征统计及邻近预警.气象,40(10):1194-1206.
- 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等.2012.短时强降水的多尺度分析及临近预警.气象,38(8):903-912.
- 井喜,井宇,陈闯,等.2014.黄土高原 β 中尺度致洪暴雨特征及成因.气象40(10):1183-1193.
- 康凤琴,张强.2004.青藏高原东

- 北边缘冰雹为物理过程模拟研究.高原气象,23(6):735-742.
- 柯文华,俞小鼎.2012.一次由列车效应造成的致洪暴雨分析研究.气象,38(5):552-560.
- 孔祥伟,陶健红.2012.近51a甘肃夏季气温和降水极端事件变化.干旱区研究,29(6):965-971.
- 李栋梁,刘德祥.2000.甘肃气候.北京:气象出版社.108-109.
- 李国昌,李照荣,李宝梓.2005.冰雹过程中闪电演变和雷达回波特征的综合分析.干旱气象,23(3):26-29.
- 刘治国,陶健红,杨建才.2008.冰雹云和雷雨云单体VIL演变特征对比分析.高原气象,27(6):1363-1374.
- 苗爱梅,武捷,赵海英,等.2010.低空急流与山西大暴雨的统计关系及流型配置.高原气象,29(4):939-946.
- 孙继松.2014.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,40(1):1-6.
- 王福侠,俞小鼎,王宗敏,等.2014.河北暴雨的多普勒天气雷达径向速度特征.气象,40(2):206-215.
- 王啸华,吴海英,唐红耀,等.2012.2009年7月7日南京短时暴雨的中尺度特征分析.气象,38(9):1060-1069.
- 吴爱敏.2009.雷暴天气的多普勒雷达VWP资料特征分析.干旱气象,27(2):177-180.
- 夏茹娣,赵思雄.2009.2005年6月广东锋前暖区暴雨 β 中尺度系统特征的诊断与模拟研究.大气科学,33(3):469-490.
- 俞小鼎.2012.2012年7月21日北京特大暴雨成因分析.气象,38(11):1314-1329.
- 俞小鼎,姚秀萍.2006.多普勒天气雷达原理与业务应用.北京:气象出版社,19-57.
- 俞小鼎,周小刚,王秀明,等.2012.雷暴与强对流临近天气预报技术进展.气象学报,70(3):325-329.
- 张京英,漆梁波,王庆华.2005.用雷达风廓线产品分析一次暴雨与高低空急流的关系.气象,31(2):41-44.
- 张京英,朱时良.2007.冷式和暖式切变线暴雨多普勒雷达资料对比分析.气象科学,增刊:45-51.
- 张培昌,杜肇玉.2000.雷达气象学.北京:气象出版社.118-120.
- 张晓美,蒙伟光,张艳霞,等.2009.华南暖区暴雨中尺度对流系统分析.热带气象学报,25(5):551-560.
- 赵玉春,李泽椿,肖子牛.2008.华南锋面与暖区暴雨个例对比分析.气象科技,36(1):48-53.
- 周明飞,杜小玲,熊伟.2014.贵州初夏两次暖区暴雨的对比分析.气象,40(2):186-195.
- 周秀骥,薛纪善,陶祖钰,等.2003.1998年华南暴雨科学试验研究.北京:气象出版社.
- 周雨华,黄小玉.2006.副高边缘暴雨的多普勒雷达回波特征.气象,32(1):12-17.