

文章编号: 2096-1618(2018)05-0592-07

陇东地区8月一次暴雨、强对流天气特征及成因分析

张可心

(成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

摘要:为了提高陇东地区夏季暴雨的预报水平,应用常规地面、高空观测、FY-2F 卫星 TBB 资料与 NCEP/NCAR 逐6小时资料,对甘肃省庆阳市2015年8月2日出现的区域性强对流、暴雨天气过程进行诊断分析,结果表明:这是一次较罕见的前倾槽西北气流型暴雨过程,500 hPa高度上有冷空气沿冷槽下滑,700 hPa有暖中心,低层暖湿阻碍了冷空气下滑,形成前倾槽;基于庆阳市短时强降水中尺度分型,本次天气过程属于西北气流型,700 hPa低涡、“人字形”切变线及地面辐合线为暴雨的主要触发机制;极强的热力不稳定对该类暴雨预报具有较好的指示意义,过程期间陇东中南部 K 指数 $>36\text{ }^{\circ}\text{C}$, $CAPE$ 值 $>1000\text{ J/kg}$, 沙氏指数 <-2 的区域与暴雨落区相吻合;暴雨前期700 hPa高度上陇东地区为比湿 $>10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的高湿区,大于预报经验值 $8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 湿层深厚,来自孟加拉湾的西南气流和台风外围偏南气流为暴雨区输送水汽,水汽在陇东东南部辐合;在垂直方向上,水汽和能量在中低层辐合、高层辐散,庆阳市上空从低层到高层均为垂直上升运动,且最大值中心位于500 hPa高度;卫星云图上可看出本次降水是冷锋云系尾部的两块对流云团合并加强所形成的 β 中尺度对流云团产生的,云顶亮温达 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下;对该类罕见暴雨类型的分析可为陇东地区暴雨预报及防灾减灾提供参考依据。

关键词:气象学;暴雨;前倾槽;物理量;台风;诊断分析

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.05.018

0 引言

突发性暴雨是西北地区夏季常见的天气,其特征具有突发性、局地性、降水强度大、时间短^[1]。暴雨天气的影响系统移动发展迅速、影响不明显、预报难度较大^[2],而西北地区大部分位于黄土高原,土质疏松,植被覆盖率低,暴雨极易造成泥石流、山体滑坡等严重的自然灾害^[3]。对暴雨的研究除了具有天气学意义和提高预报准确性的意义,更肩负着防灾减灾、保障人民生命财产安全以及促进西北地区经济发展的重要意义。近年来许多学者对于西北地区夏季暴雨展开了深入研究,并且获得了一些成果^[4-6]。

王鹏云等^[7]简要分析了中国经常发生的引起严重灾害的天气,表明中小尺度系统是产生暴雨的直接原因。梁生俊等^[8]对西北地区发生的两次暴雨过程进行比较,发现相对稳定的环流形势是大暴雨发生发展的有利条件。郭大梅等^[9]对区域性暴雨进行中尺度分析,发现区域性暴雨是中尺度辐合线、中 β 尺度对流云团共同作用下产生的。许新田等^[10]研究了西北地区一次强对流天气,结果表明中高层冷槽和低层暖温度脊、湿舌的上下叠置,有利于对流不稳定的建立和

发展。侯建忠等^[11]通过对2007年西北两次大暴雨的分析发现,台风对西北地区暴雨具有明显的影响作用,当台风位于海南附近时,大暴雨出现在秦岭以南,台风在台湾附近时,大暴雨出现在秦岭以北。陕西的重大洪涝灾害与近海台风具有密切的关系^[12]。顾清源等^[13]认为暴雨的主要触发系统是副热带高压和台风外围持续强劲的东南风低空急流,来自东南的低空急流将源源不断的水汽和不稳定能量输送至暴雨区。

对陇东一次较为罕见的前倾结构西北气流型暴雨进行特征分析,此类暴雨短时降水量级大,突发性强,多局地对流性降水,降水落区与强度预报难度大,因其出现概率小,学者对陇东地区该类暴雨研究较少,因此常常造成错报、漏报。该类暴雨带来的短时强降水及大风等强对流天气对土质疏松、地形复杂的陇东黄土高原具有较强致灾性,因西北城区排水措施不完善造成的城市内涝也对陇东人民生活产生了较大影响,通过对其产生机制及特征的分析,以期完善陇东夏季突发性暴雨分型,加强对该类暴雨的认识,为陇东地区夏季暴雨的预报、预警提供参考依据。

1 研究方法

主要利用 NCEP/NCAR 逐6小时资料,常规高空、地面观测资料与卫星云图 TBB 资料,从暴雨的天气尺

度环境场、高低空配置、中尺度特征、水汽输送特征、大气不稳定度和中尺度对流云团等方面研究本次暴雨过程特点,找出有利于形成暴雨的因素,分析中小尺度天气系统的特征,揭示本次暴雨形成的机制,总结该类暴雨的一些特征。

2 天气实况

2015 年 8 月 2 日 14 时许,庆阳市突降暴雨,暴雨

落区主要位于庆阳市东南部的西峰区、宁县和正宁县。西峰区城区、小巷以及低洼路段积水超过膝盖,部分住户、商铺等都有不同程度的受灾。宁县和正宁县部分测站 6 h 累计降水量超过 50 mm,24 h 累计降水量最大值位于正宁县的明月测站,达到了 78.2 mm,强降水导致数段道路桥梁被冲毁,部分地方受灾严重。

2015 年 8 月 2 日 08 时至 8 月 3 日 08 时,全区 128 个雨量站,累计降雨量大于 50 mm 的站点共有 18 个(表 1),多集中于庆阳市东南部的西峰区、宁县和正宁县。

表 1 2015 年 8 月 2 日 08 时-3 日 08 时庆阳市降水量大于 50 mm 的站点(单位:mm)

区县	站名	降水量	区县	站名	降水量
正宁县	月明	78.2	宁县	任劳村	72.7
	正宁	68.8		麻子掌	72.5
	永和镇	67.8		宁县	70.2
	高龙头	60.2		东风	62.2
	燕家	55.9		平子镇	51
	南桥	51.3		九岘	50.3
西峰区	西峰	62.4	合水县	肖咀	53
	南湖	61.2			
	肖金	50.7			

通过对本次暴雨时空分布的分析可以得出以下特征:
(1)降水时间较短,从过程开始至完全结束历时 8 h;
(2)雨量大,庆阳市测站统计的 24 h 最大降水量达到了 78.2 mm,且有 18 个测站降水量大于 50 mm;
(3)降水区域集中,暴雨落区主要位于庆阳市的东南部,北部华池县、环县降水量均在 10 mm 以下,部分测站无降水。

3 环流形势分析

过程发生时正逢华北雨季,500 hPa 高度中纬度为典型的两高对峙型。过程前期 8 月 1 日 08 时,青藏高

原高压东伸控制陇东地区,副高位于东南沿海,中纬度地区环流为纬向型。8 月 1 日 20 时,有低压中心形成位于蒙古国,青藏高压范围进一步扩大,同时西太平洋副热带高压西进,东西两高压(588 线)进一步靠近。8 月 2 日 08 时(图 1a),亚欧地区中高纬的环流形势为一槽一脊,低槽已经过庆阳地区,青藏高原高压的 588 线西伸至新疆-青藏高原的西部,陇东地区位于槽后西北气流控制之下,两高之间有弱的切变,沿切变线有弱的冷空气东移。从 500 hPa 温度场可以看出,温度槽落后于高度槽,冷槽东移至山西东部,但在冷槽后的内蒙至河西西部有弱冷空气东移,即在强对流发生之前,庆阳地区的高空有冷平流。

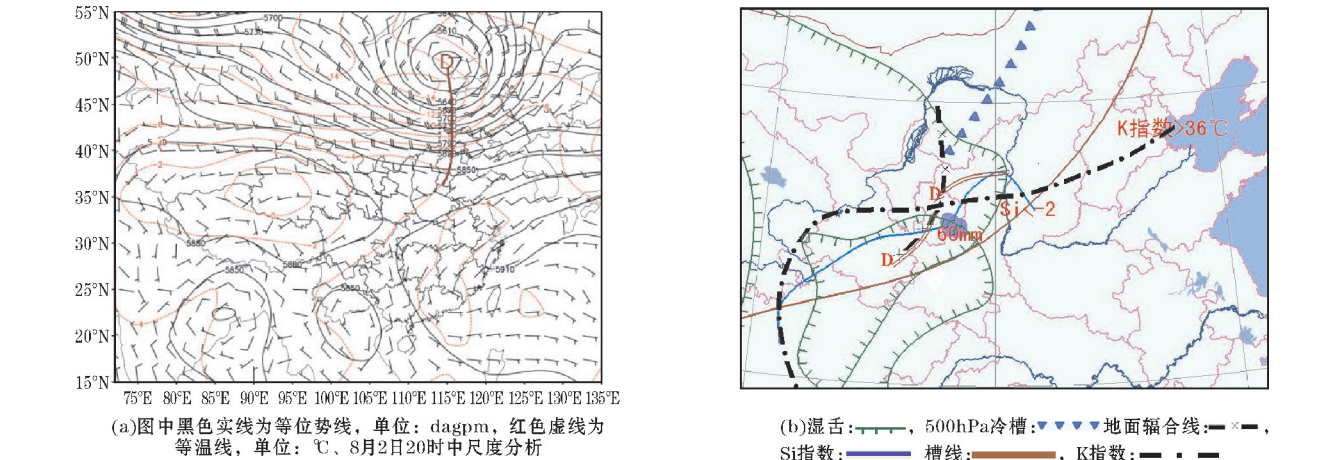


图 1 2015 年 8 月 2 日 08 时 500 hPa 环流形势

2 日 08 时,700 hPa西太平洋副热带高压西伸至两湖地区,青藏高原在青海地区形成312 hPa的闭合高压中心,陇东地区有一小槽,与500 hPa高度上的槽形成前倾槽的形势,这种前倾槽的形势极易形成短时强降水及强对流天气,陇东地区位于切变的前沿,结合温度场分析可知700 hPa高度上有一暖中心位于陇东地区。西部地区总体为西南风控制,西南风带来的水汽沿高原东部向北输送,东部地区为偏南风控制,风场在陇东地区有明显的风向辐合,2 日 14 时,风场在陇东地区辐合形成低涡中心,低涡加强东移并产生“人字形”切变,3 日 08 时以后,低涡移出陇东地区。

上述分析表明,本次天气过程在高低空形势配置上为前倾槽的形势,500 hPa 高空槽后有冷平流,700 hPa暖中心阻碍了高空冷空气下滑,使陇东地区形成前倾槽;低层有低涡东移并产生了“人字形”切变线,是本次天气过程的触发机制之一。前倾槽的环流形势,加之高层干冷、低层暖湿的配置增加了大气对流不稳定程度,极易产生局地对流性降水。

4 中尺度分析

经统计分析,陇东地区短时强降水中尺度分型为4种,分别为低槽(低涡)型、副高外西南气流型、槽后西北气流型和高压内部型,前两种类型发生频率最高,达80%左右;后两种因发生频率低,尚未完善该类暴雨模型。参考4种模型划分标准可以得出,本次暴雨为一次较为罕见的前倾结构下西北气流型暴雨。对本次暴雨、强对流天气进行中尺度分析(图1b),700 hPa高度上陇东地区有一低涡中心,且低涡中心具有明显的“人字形”切变,地面中尺度辐合线也位于陇东地区,辐合线附近极易产生短时强降水,且本次降水过程强降水中心随切变线与地面辐合线向东移动;700 hPa显著湿区与500 hPa显著湿区在陇东南地区叠加,表示陇东南地区湿度条件好,有可能产生较强降水,这与实况相符合;陇东地区中南部不稳定参数 K 指数 $>36\text{ }^{\circ}\text{C}$,沙氏指数 $Si<-2$ 的极不稳定区域与本次暴雨落区相吻合。此外,对700 hPa高度上假相当位温进行分析(图略),可以得出陇东地区 $\theta_{se}\geq75\text{ }^{\circ}\text{C}$,南部 $\theta_{se}\geq$

$80\text{ }^{\circ}\text{C}$,且为等值线密集区,即庆阳市位于能量锋区,低层高温高湿极易引发对流不稳定。

5 物理量场诊断分析

5.1 不稳定条件

不稳定层结为对流发展提供了位能转化为动能的基本条件,是暴雨、强对流天气发生的重要因素之一^[14-15],而不稳定又分为热力不稳定和动力不稳定,为对本次天气过程热力不稳定进行分析,统计了庆阳市周边3个站点的不稳定参数,包括 K 指数、抬升凝结指数(CAPE)和 SI 指数(表2),对比该次暴雨不稳定参数与陇东8月份短时强降水阈值大小。从2015年8月2日08时至3日08时,平凉站 K 指数均大于 $K\geq35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的阈值,随着时间的推移, K 指数大值的移动为由北向南,与本次天气过程发生的时间地点相吻合。2日08时平凉站 CAPE 值为445.3 J/kg,此后 CAPE 值越来越大,至3日08时达到了1040 J/kg,过程期间 CAPE 值大小为阈值4~10倍,过程开始后 CAPE 值分布越往南越大,且 CAPE 值均高达1000 J/kg以上,说明过程开始前陇东东南部不稳定能量在迅速增强,该处发生较强对流的可能性极大。2日08时,延安站的 SI 指数为负,达-5.46,此时对流云团位于延安上空,发展十分旺盛,延安市出现强降水,随后负值绝对值的最大值向南移动,在此期间,延安市、庆阳市、西安市和汉中市先后出现暴雨、强对流天气。0~6 km垂直风切变能极好的表现出大气的动力不稳定状况,张一平等^[16]提出在暖季0~6 km垂直风切变弱 $\geq15\text{ m/s}$,且 $<20\text{ m/s}$ 则属于中等以上强度的垂直风切变,对本次过程0~6 km垂直风切变进行分析发现(图略),陇东地区垂直风切变为12~14 m/s,强度较弱。

与路亚奇等^[17-18]对该地区暴雨的研究相比,本次区域性暴雨发生时大气热力不稳定程度极高,各类不稳定参数均远超阈值,而动力不稳定条件较差,造成了本次天气过程持续时间较短,区域性强,为纯暴雨过程,由此可以初步得出该类暴雨热力不稳定极强,热力不稳定参数的变化在西北气流型暴雨预报中具有较好的指示意义。

表2 2015年8月2日08:00至3日08:00不稳定参数统计

站点 参数	2 日 08:00			2 日 20:00			3 日 08:00		
	K	$Cape$	SI	K	$Cape$	SI	K	$Cape$	SI
阈值	>35	>100	<2	>35	>100	<2	>35	>100	<2
平凉	36	445.3	-1.42	38	608.8	-1.07	41	1040	-2.18
延安	44	1525.2	-5.56	30	182.1	0.69	35	0	0.69
汉中	38	1418.8	-0.89	42	2170.8	-0.77	39	1382.6	-1.07

5.2 水汽条件

5.2.1 比湿与水汽通量散度

从2015年8月2日08时700 hPa的比湿分布上看(图2),有一湿舌自孟加拉湾至东北方向,其最北端到达华北的西部,庆阳市的中部、南部处高湿区,比湿达到 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,500 hPa高度上,存在一条东西向的比湿大值区,陇东地区位于大值区内,比湿值为 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。至8月2日20时,700 hPa孟加拉湾湿舌向北延伸,庆阳市西南部至天水市的东部地区比湿 $\geq 12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,500 hPa高度上,比湿大值区伸展到宁夏,最大比湿中心在兰州及甘肃南部比湿 $\geq 6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,庆阳市处于大值区的下游。

低层700 hPa的水汽通量散度场上(图2),庆阳市的西南和东南部各有一舌状的水汽输送带并且逐渐加强,在过程开始时达到最强,至500 hPa高度,庆阳市仍然为水汽辐合区。分析暴雨天气发生区域的水汽通量散度可以看出,过程开始前中低层存在明显的水汽辐合运动,即周围的水汽向着强降水地区集中,过程开始后水汽辐合运动强烈,且水汽辐合伸展高度达400 hPa。

本次暴雨过程前及过程中,陇东地区上空湿层深厚,过程前期700 hPa上庆阳市中南部上空的比湿已达到 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,大于暴雨预报的经验值 $8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,说明此次降水过程中庆阳市上空的湿度条件较好。水汽通量散度场上700 hPa陇东地区位于水汽辐合中心,辐合高度达400 hPa。这种湿层深厚且中底层水汽辐合,高层辐散的情况有利于水汽的上升运动,为暴雨的产生提供了充沛的水汽。

5.2.2 台风对本次暴雨过程的影响

陇东地区位于甘肃省最东部,陕西西部,特殊的地

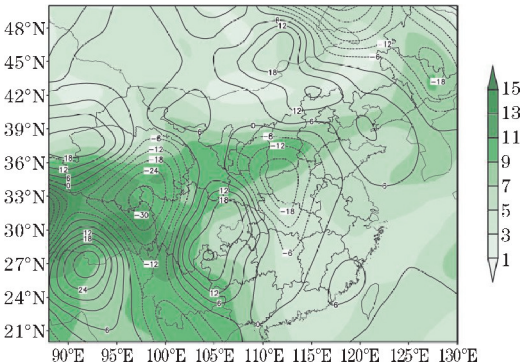


图2 8月2日08时700 hPa比湿(单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)水汽通量散度(单位: $10^{-9}\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

理位置使其气候特征与陕西省非常相似,由于其位于西北内陆,受青藏高原的影响,一般来说,海洋上的水汽不易直接输送到本地,因此对于发生在该地区的暴雨研究,水汽输送显得尤为重要。有学者指出^[19-22],台风外围的气旋性环流往往在低空形成宽广的偏东或偏南的气流带,形成暴雨区的主要水汽和能量输送。

2015年7月30日,第13号超强台风“苏迪罗”在西北太平洋洋面上形成,强度逐渐加强,8月02日凌晨进入快速强化期,位于中国钓鱼岛东偏南的位置,8月03日加强为超强台风级。本次天气过程正是发生在“苏迪罗”台风的快速强化期,从700 hPa的水汽通量场(图3a)可以看出本次暴雨天气过程的水汽来源之一为台风“苏迪罗”外围的偏南气流,2日14时,暴雨发生区附近水汽通量达到了 $8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,风场在陇东地区上空有明显的辐合,850 hPa高度上(图3b),有一水汽通量大值区自南向北移来,2日14时位于陕西省南部,中心强度大于 $15\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,陇东地区位于大值区前沿。

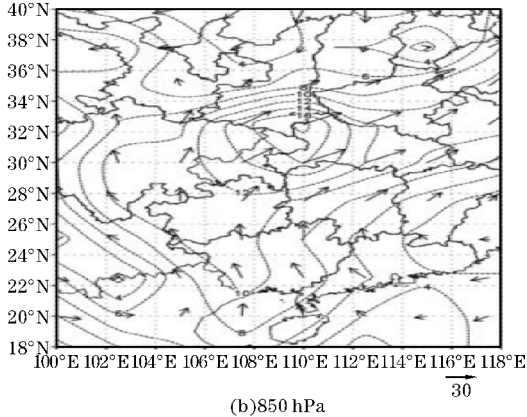
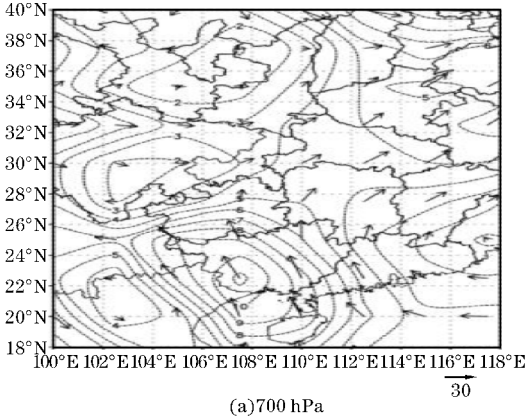


图3 2015年8月2日14时水汽通量场(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)及风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

5.3 垂直运动条件

5.3.1 散度特征

本次天气过程具有典型的暴雨散度场的分布特征:辐合与辐散最大值分别位于700 hPa以下的低层与

200~300 hPa。8月1日20时,700 hPa散度场上,西北地区至东南地区均为负散度控制,500 hPa高度层上,甘肃省的西部以及华北地区为负的散度区,而陇东地区则处于正的散度区。至2日08时,700 hPa高度上,华北至川渝地区为负散度控制,而庆阳市处于正负

散度区的边缘,其中部至南部均为负散度区,500 hPa 高度上,河套地区以及以东的地区均为负散度区,负散度的伸展高度达到500 hPa以上,与 1 日 20 时相比,500 hPa负散度区的面积东移并且加强,而负散度的伸展高度也有所增加。2 日 08 时,暴雨区上空的散度剖面图(图略),500 hPa以下有两个强的辐合运动中心,其中在600 hPa高度,辐合运动最强,达到了 $-60\times10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,至 2 日 14 时,暴雨、强对流天气发生前,暴雨区上空的辐合运动区下移,主要位于700 hPa以下,中心强度加强至 $-60\times10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。暴雨区上空400~150 hPa有较强的辐散区与中低层的辐合区相配合,辐散区在250 hPa达到最强,2 日 20:00,在 35°N 、 108°E 附近形成了 $80\times10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的辐散中心。

5.3.2 垂直速度与涡度

过程前期,2015 年 8 月 2 日 08 时(图 4),陇东地区上空从低层到高层均为明显的负速度区,即存在强烈的上升运动,尤其是700 hPa负速度区的形状与低空水汽输送通道的方向基本一致,陕甘宁交界区均为负速度区,庆阳市北部位于负速度区的中心位置,上升运动区与低层的正涡度中心和辐合中心高度一致,且与暴雨区吻合。随着高度的上升,垂直运动愈发强烈,至 500 hPa高度层,陇东地区仍然处在上升运动中心,上升运动在400 hPa时达到最大,其上则逐渐减小,到 200 hPa时,庆阳市仍出在负速度控制之下。因此可以得出由低层到高层,陇东地区均处在负速度中心,即庆阳上空整层大气存在明显的上升运动。

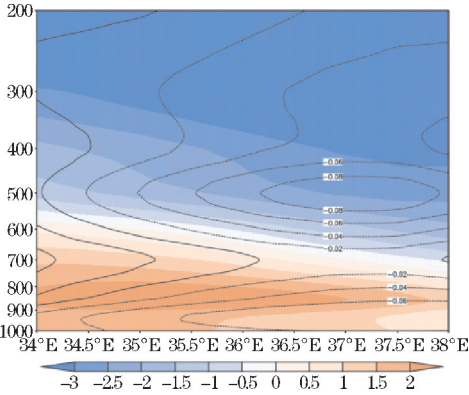


图 4 2017 年 8 月 2 日 08 时垂直速度剖面(单位: $10^{-3}\cdot\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)、
涡度垂直剖面(单位: $10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$)

从涡度场的分布和变化可以看出,本次天气过程的发生区域和低层的正涡度中心相对应。8 月 1 日 20 时,低层700 hPa以下,正的涡度中心开始在庆阳市的东北部形成,2 日 08 时850 hPa高度层,在 110°E 、 35°N 处形

成一个正涡度中心,其强度达到了 $25\times10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$,涡度中心向南移动,先增强后减弱,至 2 日 20:00,涡度中心移动至陕西中东部,呈东西走向的带状,中心强度减弱至 $20\times10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$ 。与低层正涡度中心相对应的 500 hPa高度上为负涡度中心,强度达到了 $-20\times10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$,且高层负涡度中心随时间的移动与低层一致。分析穿越暴雨区域的東西走向的涡度剖面图(图 3)发现,正涡度的最强中心位于850 hPa左右的高度,强度为 $20\times10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$,且随着高度的升高向南倾斜,500 hPa及以上均为负的涡度区域,且负涡度中心在200 hPa,中心强度达到了 $-40\times10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

以上分析表明,本次暴雨过程的辐合辐散的中心分别位于700 hPa以下和 200~300 hPa,因此低层水汽辐合为本次暴雨提供了主要的水汽来源,正负涡度中心分别位于850 hPa和200 hPa,正涡度中心与暴雨区域对应,深厚的上升运动为产生暴雨提供了良好的垂直运动条件。

6 中尺度对流云团分析

在本次天气过程开始发展阶段,8 月 2 日 14 时 30 分(图 5a),庆阳市的东北部,陕西省延安市一带和庆阳市西部平凉市有两块对流云云区,分别对应位于陕西境内的高空冷槽及庆阳-陇南一带的切变线。南北两块云区缓慢向南移动并迅速发展,在陇东地区逐渐连成一片,至 2 日下午 16 时 45 分,原本位于陇东东北部、西南部的对流云团相向移动,合并后逐渐发展强大,云顶发展较高,位于庆阳市东南部以及陕西省延安市、西安市境内。庆阳市东部团状对流云在南压的过程中旋转增强,2 日 18 时 30 分(图 5b),对流云团进一步发展成团状,范围更加宽广,云顶亮温达 -80°C ,有发展成为 MCC 的趋势。至 22 时 15 分,对流云团减弱,庆阳市中南部转为层状云降水。

暴雨过程发生之时冷锋云系已过庆阳市,其尾部位于陇东地区东西两块对流云团发展合并加强,在对流云团的发展过程中,前进方向的云团等值线密集,亮温梯度大,在移动方向的后部,云团边缘模糊,并且等值线分布疏散,在云团后部存在着云顶亮温较小的降水云区,对流云发展成 β 中尺度对流云团,且有成为 MCC 的趋势,但随着移动过程中降水的产生,最终急剧减弱消散,因此本次暴雨过程降水强度大但持续时间不长。

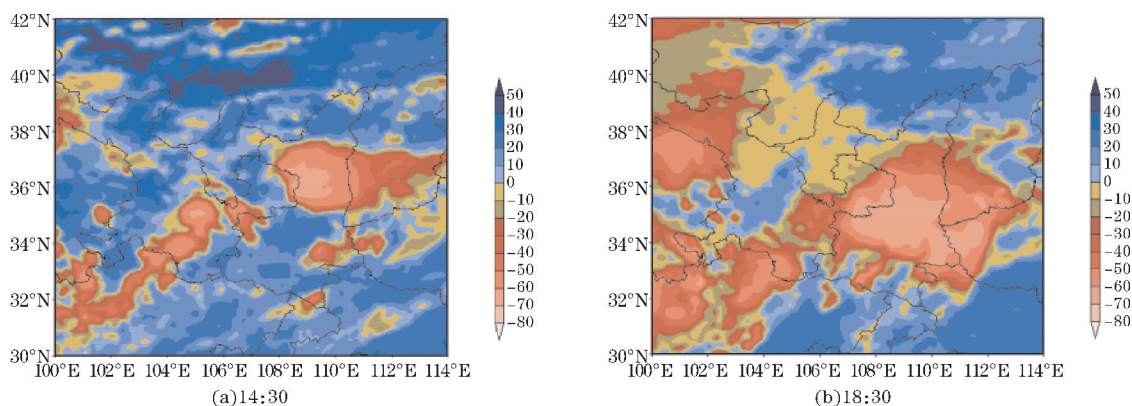


图5 2015年8月2日FY-2F卫星TBB(单位:℃)

7 结论

(1)本次天气过程为一次前倾槽引起的区域性暴雨,高层500 hPa陇东地区位于槽后,冷槽引导冷空气下滑至陇东地区上空,700 hPa位于短波槽前,有暖中心,低层暖湿阻碍了高空下滑冷空气,导致了前倾槽的形成。

(2)根据庆阳市短时强降水中尺度分型,本次暴雨为西北气流型,700 hPa低涡形成的“人字形”切变及地面辐合线为暴雨的触发机制,强降水区随着低涡及地面辐合线东移。

(3)陇东地区热力不稳定程度极强,不稳定参数均高于庆阳市短时强降水阈值,中南部 K 指数 >36 ℃, $CAPE$ 值 >1000 J/kg,沙氏指数 <-2 的区域与暴雨落区相吻合,本次区域性暴雨的垂直风切变未达到较强标准,验证了陇东地区垂直风切变在 $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下时未发生冰雹,可以通过增强二者之间的对比增强对纯暴雨及暴雨、冰雹预报的把握。

(4)过程前期湿度条件好、湿层深厚,700 hPa比湿 $>10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 远大于预报经验值;来自孟加拉湾的西南气流与台风“苏迪罗”外围的偏南气流为本次天气过程提供了充足的水汽,水汽辐合中心位于700 hPa;低层正涡度与降水区域对应,整层大气垂直上升运动为降水提供了有利条件。

(5)冷锋云系尾部位2个对流云团发展合并产生的 β 中尺度对流云团是产生强降水的原因,冷暖空气的合并使得云团进一步发展,发展最盛时期云顶亮温 <-80 ℃,并有成为MCC的趋势,但随着云团的南压,庆阳市东南部产生强降水后强度急剧减弱,至3日凌晨在陕西省上空消散。

(6)通过对本次天气过程分析可以得出该类暴雨的一些特征及预报思路:当8月陇东环流调整为低槽后部时,低层暖平流及暖中心的生成有利于前倾结构

的形成;湿层深厚,从地面到500 hPa湿度都很大;700 hPa有低涡切变、位于能量锋区,陇东地区 $\theta_{se} \geq 75$ ℃,南部 $\theta_{se} \geq 80$ ℃;与陇东其他类型暴雨相比,此次暴雨热力层结不稳定度远高于其他类暴雨;以区域性降水为主,短时强降水出现在地面辐合线附近;暴雨降水云团主要是单体对流性云团发展产生的 β 中尺度对流云团;因庆阳市雷达遮挡严重,缺乏该方面的探讨;期望以上研究能为庆阳市暴雨预报及防灾减灾提供参考依据。

参考文献:

- [1] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京:气象出版社,2014,12.
- [2] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [3] 白肇烨,徐国昌,孙学筠,等. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社,1988.03.
- [4] 孔祥伟,陶健红. 河西走廊中西部干旱区极端暴雨个例分析[J]. 高原气象,2015,34(1):70-81.
- [5] 井喜,李强. 黄土高原一次 β 中尺度突发性暴雨特征及成因[J]. 暴雨灾害,2013,32(3):242-248.
- [6] 樊晓春,马鹏里. 甘肃罕见冰雹天气过程个例分析[J]. 气象科技,2007,35(3):363-367.
- [7] 王鹏云,李泽椿. 灾害性天气和中尺度气象学研究[J]. 气象科技,2001,29(1):10-14.
- [8] 梁生俊,马晓华. 西北地区东部两次典型大暴雨个例对比分析[J]. 气象,2012,38(7):804-813.
- [9] 郭大梅,许新田. 陕西区域性暴雨个例中尺度分析[J]. 气象科技,2007,35(3):379-382.
- [10] 许新田,刘瑞芳,郭大梅,等. 陕西一次持续性强对流天气过程的成因分析[J]. 气象,2012,38(5):533-542.

- [11] 侯建忠,许新田,张小玲,等. 热带气旋活动对陕西2007年两次大暴雨影响的综合分析[J]. 成都信息工程学院学报,2008,23(5):537-543.
- [12] 侯建忠,张弘,李明娟,等. 台风活动对陕西重大洪灾事件影响的综合分析[J]. 气象,2010,36(9):94-99.
- [13] 顾清源,肖递祥,黄楚惠,等. 低空急流在副高西北侧连续性暴雨中的触发作用[J]. 气象,2009,35(4):59-67.
- [14] 殷雪莲,郭建华. 沿祁连山两次典型强降水天气个例对比分析[J]. 高原气象,2008,27(1):184-192.
- [15] 李燕,薄兆海. 大连大暴雨天气过程个例分析[J]. 气象科技,2007,35(2):222-226.
- [16] 张一平,俞小鼎,孙景兰,等. 2011年早春河南一次高架雷暴天气成因分析[J]. 气象,2014,40(1):48-58.
- [17] 路亚奇,徐燕,王燕龄. 甘肃庆阳突发性暴雨与系统性暴雨的对比分析[J]. 中国农学通报,2017,33(11):104-111.
- [18] 路亚奇,王建,焦美玲. 2012年庆阳市一次短时大暴雨的诊断[J]. 干旱气象,2013,31(3):542-549.
- [19] 陈联寿. 登陆热带气旋暴雨的研究和预报[G]. 第14届热带气旋论文摘要文集,2007:327.
- [20] 刘子臣,梁生俊,张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响[J]. 高原气象,1997,16(4):402-409.
- [21] 蒋尚城. 远距离台风影响西风带特大暴雨的过程模式[J]. 气象学报,1983,41(2):147-158.
- [22] 侯建忠,王川,鲁渊平,等. 台风活动与陕西极端暴雨的相关特征分析[J]. 热带气象学报,2006,22(2):203-208.

Characteristics and Causes of a Heavy Rain, Strong Convective Weather in Longdong Region in August

ZHANG Ke-xin

(Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to improve the forecast of summer heavy rainsfull, the data of conventional ground, high altitude observation, FY-2F satellite TBB data and NCEP / NCAR 6-hour data had been used to diagnosis and analysis of regional severe convective and rainstorm weather happened on August 2, 2015, Qingyang area, Gansu province. The results show that: This is a relatively rare forward trough northwest airflow type rainstorm process. Cold air drops along of the cold trough at the height of 500 hPa. Longdong is located in front of the tank with a warm center of 500 hPa. As the lower layer of warm moisture prevents the upper air from sliding into the forward trough; Based on the mesoscale classification of short-term heavy precipitation in Qingyang, this weather process belongs to the northwest airflow type, 700 hPa low vortexes, "herringbone" shear lines and ground convergence lines are the main triggering mechanisms of rainstorm. Extremely strong thermal instability has a good indication of this type of heavy rainfall forecast, during the process, K index >36 °C, $CAPE > 1000$ J/kg in Longdong south-central, and the area of $SI < -2$ is consistent with the rainstorm zone. Prior to the occurrence of the rainstorm, the area above the longdong area of 700 hPa was the high wet area of >10 g · kg⁻¹, which greater than the predicted experience value of 8 g · kg⁻¹. Southwest airflow from the Bay of Bengal and the south airflow of typhoon outside transported water vapor for the rainstorm area. Water vapor converged in the southeastern part of Qingyang. In the vertical direction, the water vapor and energy converged in the low-level and diverged in the high-level. From the lower to the upper of atmosphere moved upward, and the maximum center of the rising movement was at 500 hPa height. It can be seen from the satellite image that the precipitation is the result of β mesoscale convective clouds that was developed by two convective cloud clusters in the tail of the cold front cloud system, and the ceiling of the cloud reached -80 °C. The analysis of this type of rainstorm is a reference for the forecast of rainstorm and disaster prevention and reduction in Longdong.

Keywords: meteorology; heavy rainfall; forward trough; physical quantity; typhoon; diagnostic analysis