

胡启元,李萍云,井宇,等. “17·7”榆林特大暴雨成因及多普勒雷达特征分析[J]. 陕西气象,2018(2):10-15.

文章编号:1006-4354(2018)02-0010-06

“17·7”榆林特大暴雨成因及多普勒雷达特征分析

胡启元,李萍云,井宇,卫玮

(陕西省气象台,西安 710015)

摘要:利用 MICAPS 资料、NCEP1°×1°再分析资料以及榆林多普勒天气雷达产品,对 2017 年 7 月 25—26 日榆林市区域性暴雨、局地大暴雨成因进行分析。结果表明:500 hPa 短波槽、700 hPa 低空西南急流和 850 hPa 中尺度切变线是本次过程的主要影响系统;700 hPa 西南急流为特大暴雨的主要水汽输送系统,同时为强降水的维持提供了不稳定能量。雷达反射率演变特征表明该次过程有两个强降水时段,第一阶段为位于榆林北部的带状回波和南部的孤立雷暴单体造成的局地强降水,第二阶段为回波前部不断生成并发展的多个强回波中心给榆林南部带来的大范围短时暴雨。径向速度图上,在第二阶段对称的正负速度中心表明 700 hPa 存在明显的西南低空急流;过程期间低空急流与强降水的发生具有较高的相关性,持续出现的中心风速为 15 m/s 以上的西南急流对短时大暴雨的产生有重要作用,低空急流的强度直接影响着强降水强度,急流风速增幅越大,强降水雨强增幅越大。

关键词:短时大暴雨;低空急流;雷达回波特征;径向速度

中图分类号:P458.121.1

文献标识码:A

榆林位于陕西最北端,处于黄土高原向风沙滩地转变的过渡区域,属于温带半干旱气候区,年平均降水量 600 mm 以下,其中夏季降水量占全年 50%左右,区域性的暴雨或者大暴雨出现较少。近十年以来榆林夏季降水过程多以短时暴雨形式发生,如 2014 年 7 月 9 日清涧、绥德短时强降水过程,2015 年 7 月 18 日子洲局地大暴雨过程,2016 年 7 月 8—9 日榆林东部地区短时大暴雨过程等。万慧等^[1]通过对 1971—2012 年榆林市致灾暴雨的时空分布特征进行分析,发现榆林东部黄河沿岸,因偏南气流和偏东气流受地形阻挡强迫抬升易形成辐合,因而暴雨较多;刘勇等^[2]通过对 2003 年 7 月 30 日陕西府谷突发性大暴雨天气进行诊断分析,发现 200 hPa 高空急流和 700 hPa 低空急流耦合产生的次级环流为大暴雨提供了持续强劲的上升运动;井宇等^[3]统计了 2013 年榆林市辖区内 8 次中-β 尺度致洪暴雨的

雷达反射率特征,发现强度大于 45 dBz 的强回波形成的“列车效应”是暴雨产生的主要原因。另外还有众多学者^[4-8]从能量、卫星云图等方面进行分析,但在雷达资料分析,尤其是雷达导出产品的分析应用上还不够深入。为了积累预报经验、提高雷达产品应用,本文利用 MICAPS 常规资料、NCEP1°×1°再分析资料以及榆林多普勒天气雷达资料,对 2017 年 7 月 25 日发生在榆林东南部的一次特大暴雨过程(下简称“17·7”大暴雨”)的形成特点、成因及预报技术难点等进行分析,为研究榆林局地暴雨发展机制及可预报能力提供参考。

1 过程实况及降水特征

2017 年 7 月 25 日 20 时至 26 日 08 时,榆林大部地区出现区域性暴雨、局地特大暴雨天气过程(图 1),降雨强度大,强降水主要位于榆林南部子洲、绥德一带。5 县区监测站降水量超过 100 mm,子洲降雨量最大为 218.7 mm;28 个乡

收稿日期:2017-10-09

作者简介:胡启元(1989—),男,汉族,陕西西安人,学士,工程师,主要从事天气预报及技术研究。

基金项目:2016 年度陕西省气象局青年基金项目(2016Y-2)

镇监测站降雨量超过 100 mm,其中子洲县周硷镇、子洲县城降水量均超过 200 mm,最大降雨量在绥德四十里铺为 247.3 mm。

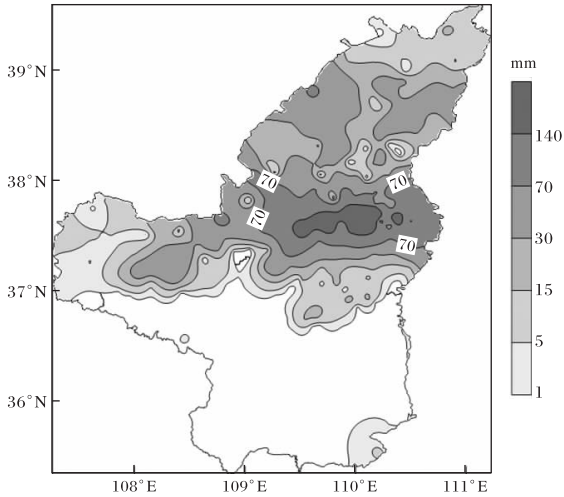


图1 2017-07-25T20—26T08 榆林市累积降雨量

过程期间降雨最强时段为 25 日 21 时—26 日 02 时(图 2)。前期降水中心主要位于子洲,持续时间较短,后期子洲到绥德一带同时出现强降水,且持续时间较长,小时降雨量基本在 20 mm 以上,为“17·7”大暴雨的主要降雨时段。强降水导致水库漫溢,子洲、绥德县域内出现洪灾,造成县城大面积积水,基础设施损毁严重,6 人死亡,农作物受灾面积达 2 216.2 hm²,直接经济损失 15 亿元左右。

2 环境场

2.1 环流形势

2017 年 7 月 25 日 08 时 500 hPa 上,副热带

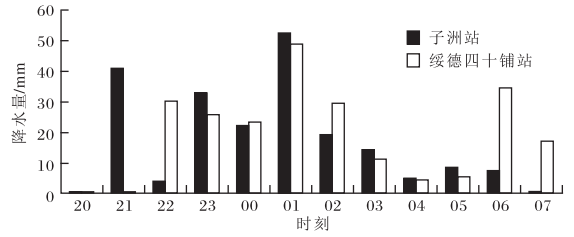
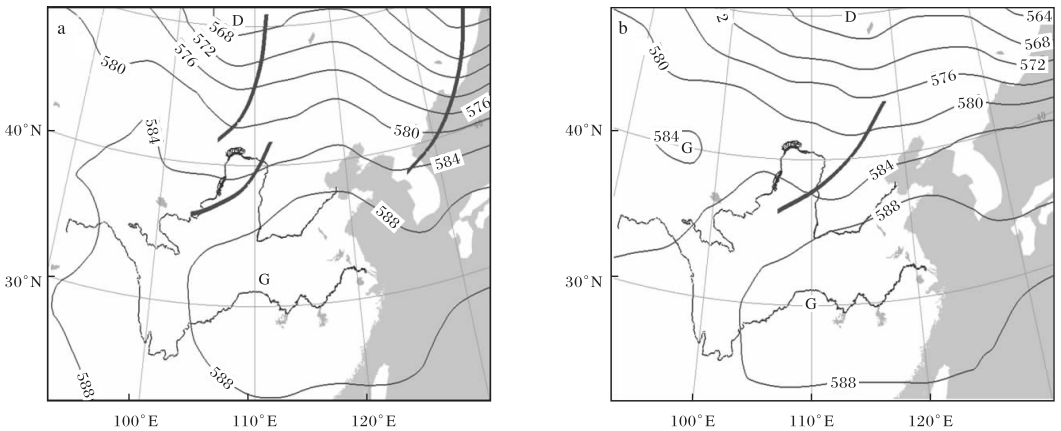


图2 2017-07-25T20—26T08 暴雨中心子洲站、绥德四十铺站逐小时降雨量

高压中心位于长江中下游,588 dagpm 线控制陕西东南部地区,其他地区在 584 dagpm 线范围内,584 dagpm 线北脊伸展至山西与内蒙古交界处。受 584 dagpm 控制影响,此时榆林地区天气状况为晴天少云。与此同时在蒙古高原上有宽广低值区,其底部不断有西北冷空气扩散南下,在甘肃—宁夏交界处形成一短波槽。25 日 20 时(图 3a),与 08 时相比天气系统没有太大变化,副高势力有所加强,588 dagpm 线北抬至延安地区,位于宁夏的 500 hPa 短波槽东移至陕北西部,同时 700 hPa 西南气流在榆林上空加强,随后 12 h 榆林中南部出现特大暴雨天气。到 26 日 08 时(图 3b)副高减弱,588 dagpm 线南退,短波槽东移出陕西,此时榆林地区降水减弱,但仍受偏西南气流控制。通过对比可以看出,25 日 08 时—26 日 08 时 500 hPa 榆林始终受偏南气流影响,短波槽位于宁夏时榆林未出现降水,而当短波槽东移经过榆林时,榆林上空偏南气流加强并出现强降水,说明 500 hPa 短波槽东移以及偏南气流加强,是造成这次特大暴雨产生的原因之一。

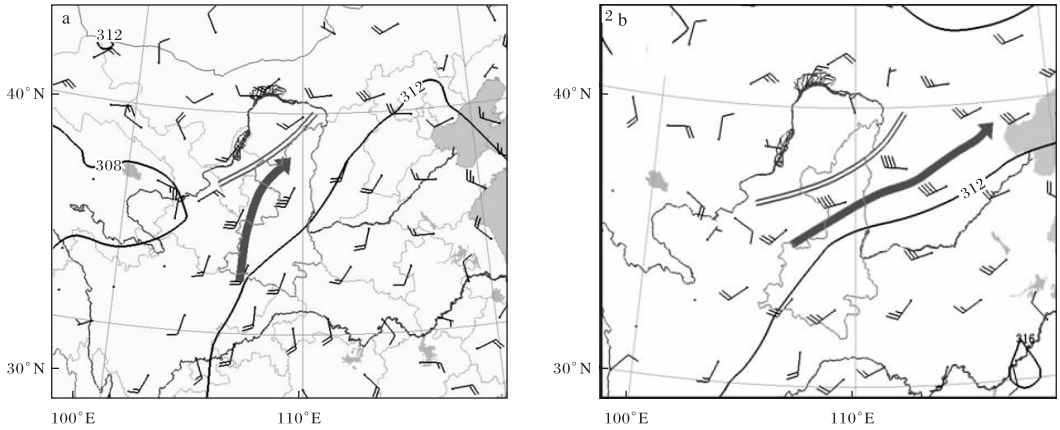


(粗实线为槽线;细实线为等高线,单位为 dagpm)

图3 2017-07-25T20(a)和 2017-07-26T08(b)500 hPa 高度图

低层影响系统是700 hPa低空急流和850 hPa中尺度切变线。25日20时(图4a)700 hPa在312 dagpm 西侧有明显西南气流,气流从南海经云贵和四川,最终在陕西中西部加强为一条中心风速为14 m/s的偏南低空急流,榆林地区处在低空急流出口区前侧,延安站风速由08时6 m/s增大至14 m/s,东胜站风速仍为6 m/s,榆林有明显风速辐

合。850 hPa上榆林上空存在一条东北—西南向的切变线,切变线东部受偏东气流控制,西部受偏北气流控制。26日08时(图4b)700 hPa急流中心东移至山西,850 hPa切变线维持在榆林中南部,对比两个时次可以看出,25日夜間700 hPa急流和850 hPa切变线一直影响榆林地区,并且为该时段特大暴雨的发生发展提供有利的辐合上升条件。



(实心箭头为700 hPa西南急流,双实线条为850 hPa切变线)

图4 2017年7月700 hPa风场及高度场(a 25日20时,b 26日08时)

2.2 水汽条件

25日20时水汽通量图上,700 hPa南海—贵州—重庆—陕西存在明显偏南水汽通道(图5a),榆林处在水汽通量大值区,其值为 $(14 \sim 16) \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;850 hPa上榆林地区水汽通量值为 $(8 \sim 10) \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。26日08时700 hPa水汽通道随低空急流转为西南方向,榆林南部水汽通量仍在 $(12 \sim 14) \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ (图略),说

明25日夜間榆林地区水汽条件良好。和850 hPa相比较,700 hPa偏南急流输送的充沛水汽对特大暴雨发生的贡献比较大。

从水汽通量散度分布来看,700 hPa上25日20时榆林地区存在水汽辐合中心,暴雨区水汽辐合数值为 $-30 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 左右(图5b)。850 hPa上榆林大部也为水汽辐合区,但辐合中心位于宁夏西部,暴雨区附近水汽通量散度仅为 $-10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

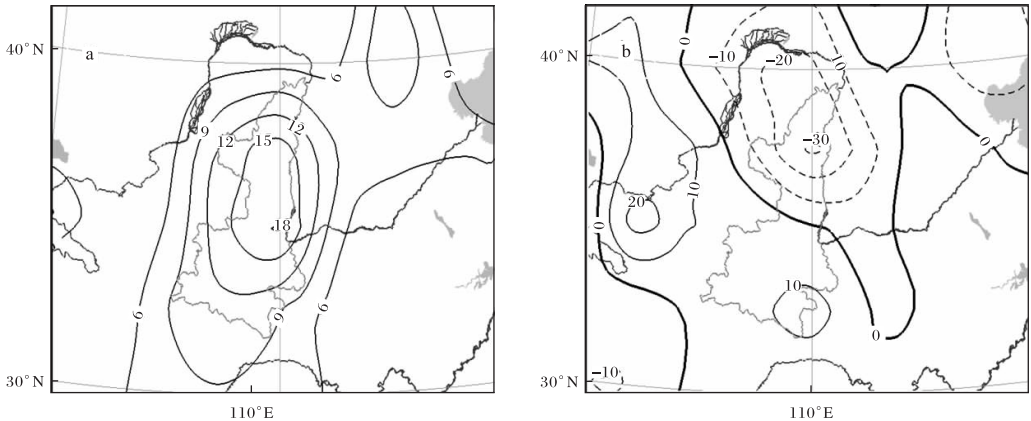


图5 2017-07-25T20 700 hPa水汽通量(a,单位为 $10^{-2} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{S})$)和

水汽通量散度(b,单位为 $10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{S})$)

可以看出榆林地区低层水汽辐合明显, 850 hPa水汽辐合强度较700 hPa小, 700 hPa偏南急流输送的充沛水汽对特大暴雨发生的贡献比较大。

2.3 不稳定能量条件

对暴雨发生前对流潜势进行分析, 25日20时700 hPa陕北上空有高能舌($\theta_{se} \geq 351$ K)从四川盆地向东北伸展, 在陕北地区形成高能区, θ_{se} 中心位于榆林西部, 大小为354 K(图6a)。此时温度对数压力图显示延安700 hPa以上存在对流不

稳定, 对流有效位能已达2354.6 J/kg, K指数和SI指数分别为44℃和-1.41℃(图略), 大气层结十分不稳定, 能量潜势有利于暴雨生成和发展。

从26日02时(图6b)700 hPa假相当位温分布可以看出, 20时位于榆林西部的 θ_{se} 中心在02时已经东移至榆林南部, 仍为高能区, 而且 θ_{se} 中心范围较08时有所扩大, 强度却从354 K下降至351 K, 这说明虽然前期触发对流消耗了一定的不稳定能量, 但后期700 hPa急流携带的暖湿气流不断为强降水的维持提供不稳定能量。

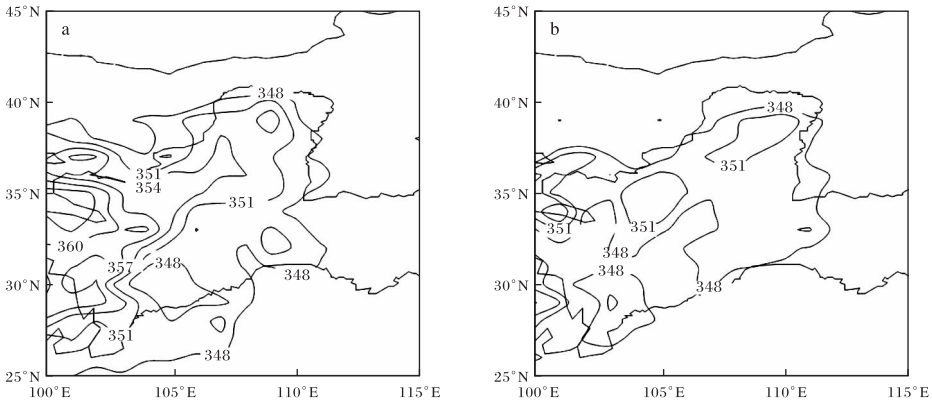


图6 2017-07-25T20(a)和2017-07-26T02(b)假相当位温(单位为K)

3 雷达回波特征分析

根据25日20时—26日08时过程降雨量以及雷达回波特征, 将此次暴雨过程分为两个主要降水时段, 第一阶段为25日20时—22时, 主要为分散性强降水, 落区位于子洲、横山; 第二阶段为25日23时—26日03时, 为区域性暴雨或大暴雨, 集中在榆林南部的子洲、绥德、佳县、吴堡。下面通过组合反射率因子、 1.5° 仰角径向速度分布来分析暴雨在两个时间中的特征。

3.1 第一阶段

20—22时榆林受两个强回波区影响, 一个是位于榆林西部的一条南北走向的带状回波, 二是榆林南部的孤立雷暴单体(图7a)。该阶段带状回波单体排列整齐, 强度为40~50 dBz, 最大强度超过55 dBz, 回波东移过程中移速较快约为40 km/h, 所经区域出现20~50 mm降水。榆林南部的孤立雷暴单体位于子洲附近, 移动缓慢, 中心强度在65 dBz以上, 其影响区域出现80 mm左右短时强降水; 该时段 1.5° 仰角径向速度分布

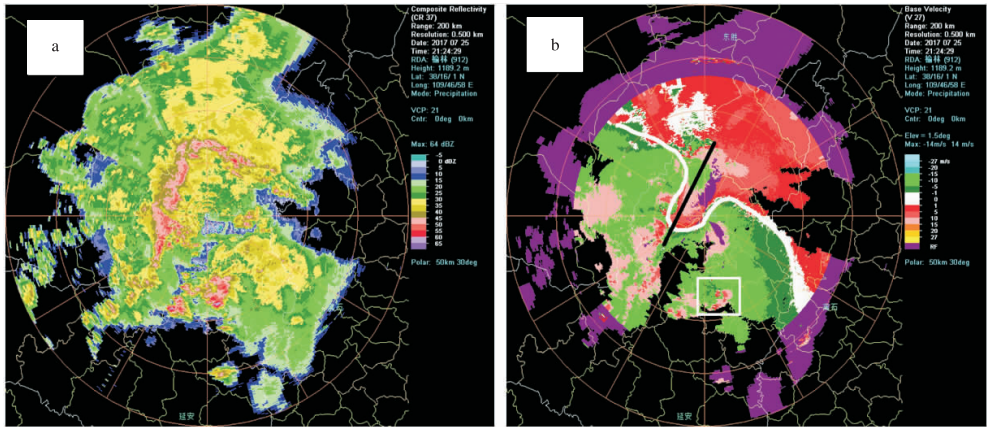
图上, 零速度线存在两种结构: 一种是在榆林西北侧(雷达站点西北部, 距站点25~100 km), 呈反“S”型结构, 未通过雷达站; 另一个是在榆林东南侧, 呈“S”形结构, 通过雷达站, 带状回波区位于反“S”结构和“S”结构之间的区域(图7b), 表明带状回波区西北侧有偏西冷平流, 东南部有偏南暖平流, 中低层冷平流侵入偏南暖空气中触发了对流, 造成横山、榆阳出现强降水。另一方面20:53—21:55, 子洲附近出现中尺度辐合区(图7b白框), 该中尺度辐合区由西南向东北缓慢移动, 正负速度差达20~25 m/s, 是榆林南部雷暴单体发展和维持的主要原因。

3.2 第二阶段

25日23时之后, 孤立雷暴单体减弱消失, 带状回波东移加强成积云层状云混合型回波, 并向东南方向移动(图8a)。26日00时开始, 降水回波移至榆林南部, 其前部不断有多个强回波中心生成并发展增强, 并经过子洲、绥德、佳县等地。据统计, 00:58—03:01共有6个强度为50 dBz左右的强回

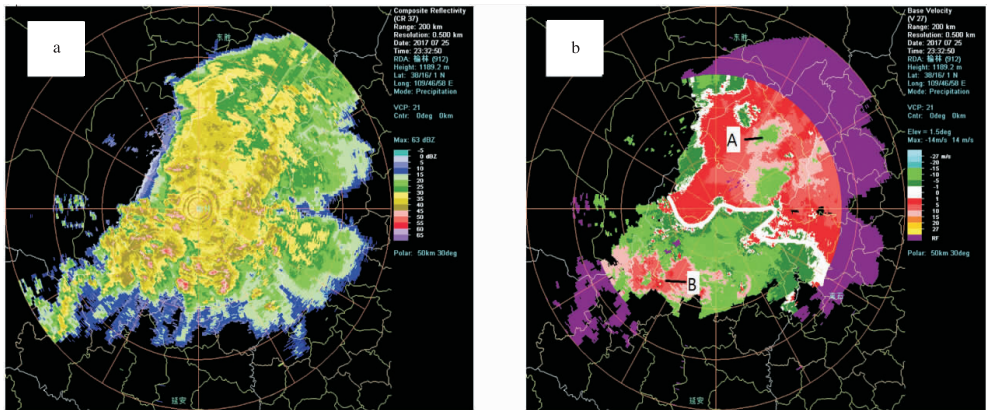
波在子洲上游生成并经过,造成子洲、绥德、佳县等地 20 mm/h 以上的强降水,榆林南部出现特大暴雨。03 时之后,降水回波东移出榆林,减弱消失。1.5°仰角径向速度图上,在第一阶段,西南急流表现不明显,但在第二阶段,23:32 可以看出,雷达站点 0~50 km 等距离线范围内零速度线呈“S”形(图 8b),说明对应高度层(0~2 km)为东南气流,而在雷达站点的西南方向和东北方向、50~100 km 处分别存在对

称正负速度中心(图 8b 中 A、B 处),表明对应高度层(2~4 km)存在风速为 14~20 m/s 的西南急流,此时急流轴北侧出现短时强降水。00:27 急流轴移动至雷达东南侧 100 km(即暴雨中心)处,并且在 00:27—02:05,径向速度分布上显示急流轴继续向东南缓慢移动,移速约为 8~10 km/h,中心风速维持在 14 m/s 以上。稳定少动的急流不断为暴雨中心输送水汽和不稳定能量,有利于暴雨维持较长时间。



(图 b 中黑线为“S”和反“S”的分界线;白色方框内为中尺度辐合区)

图 7 2017-07-25T21:24 多普勒雷达组合反射率因子图(a)和 1.5°仰角径向速度图(b)



(图 b 中 A 表示负速度中心区, B 表示正速度中心区)

图 8 2017-07-25T23:32 多普勒雷达组合反射率因子图(a)和 1.5°仰角径向速度图(b)

3.3 低空急流与强降水的关系

由两个阶段雷达特征的定性分析可知,第二阶段西南低空急流对榆林南部特大暴雨的发展和维持起到重要作用。这里选取榆林马合站、横山站、绥德四十铺站,进一步定量分析 25 日 21 时—26 日 04 时期间低空急流与强降水之间的关系。

马合站位于榆林西北部,横山站位于榆林中南部,四十铺站位于榆林东南部,同时根据雷达原

理,某一高度的最大多普勒径向速度值即为此高度上的实际风速^[9],对比 25 日 21 时—26 日 04 时马合站、横山站和四十铺站径向速度与逐小时雨强(表 1)可以看出,22 时之后低空急流轴已向东南方向移出榆林西北部,马合站在 22 时—04 时期间未受到低空急流影响,其上空径向速度普遍很小,最大仅为 3~5 m/s,期间也未出现强降水;23 时低空西南急流出现在横山站和四十铺站

上空,两站出现了 25.8~48.8 mm/h 左右的强降水,不同之处在于低空西南急流在四十铺站存在时间比横山站长,对应的强降水维持时间四十铺比横山站长 2 h,表明强降水的发生与急流的出现有较高的关联性,当急流移出或减弱时降水减弱;22 时横山站和四十铺站雨强较小,当横山站

23 时 1.5°仰角速度图上最大径向速度由 10 m/s 增大为 18 m/s 时出现 46.3 mm 的强降水,四十铺站 01 时 1.5°仰角速度图上最大径向速度由 15 m/s 增大为 23 m/s 时出现 48.8 mm 的强降水。说明低空急流风速增幅越大,强降水雨强增幅越大,低空急流的强度直接影响着强降水的强度。

表 1 2017-07-25T21—07-26T04 榆林部分站点 1.5°仰角上最大径向速度(V_{\max})与小时雨强(R_z)

时间	马合站		横山站		四十铺	
	R_z/mm	$V_{\max}/(\text{m/s})$	R_z/mm	$V_{\max}/(\text{m/s})$	R_z/mm	$V_{\max}/(\text{m/s})$
25 日 22 时	3.9	5.0	9.8	10.0	3.3	10
25 日 23 时	0.0	3.0	46.3	18.0	25.8	15
26 日 00 时	0.0	0.0	27.2	15.0	23.7	15
26 日 01 时	0.0	0.0	4.1	7.0	48.8	23
26 日 02 时	0.0	0.0	0.5	5.0	29.3	18
26 日 03 时	0.0	0.0	7.0	0.0	11.5	10
26 日 04 时	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	3

4 结论

(1)“17·7”大暴雨过程发生期间,榆林处于 500 hPa 副高 588 dagpm 线外围,500 hPa 短波槽、700 hPa 西南急流和 850 hPa 中尺度切变线是主要影响系统,各系统之间共同配合为榆林特大暴雨的发生提供了有利条件。

(2)暴雨发生前和发生后榆林地区水汽充沛,主要水汽和能量输送来源为 700 hPa 低空偏南急流。特大暴雨落区位于 700 hPa 急流左前侧水汽显著辐合区域,并且急流不断为榆林地区补充所需的不稳定能量,有利于强降水的长时间维持。

(3)此次特大暴雨过程有两个强降水时段。在第一阶段,位于榆林北部的带状回波和南部的孤立雷暴单体分别造成局地强降水;在第二阶段,降水回波前部不断有多个强回波中心生成并发展,给榆林南部带来大范围短时暴雨。径向速度图上在第二阶段对称的正负速度中心结构表明 700 hPa 存在明显的西南低空急流;过程期间低空急流与强降水的发生具有较高的关联性,持续出现 15 m/s 以上西南急流对短时大暴雨的产生有重要作用,低空急流的强度直接影响着强降水强度,急流风速增幅越大,强降水雨强增幅越大。

参考文献:

- [1] 万慧,贺继荣,马锋. 榆林市致灾暴雨的时空分布特征[J]. 陕西气象, 2014(1):21-24.
- [2] 刘勇,杜川利. 黄土高原一次突发性大暴雨过程的诊断分析[J]. 高原气象, 2006, 25(2):302-308.
- [3] 井宇,陈闯,屠妮妮,等. 2013 年榆林市 β 中尺度致洪暴雨成因及预报着眼点研究[C]//中国气象学会年会 s1 灾害天气监测、分析与预报. 北京:中国气象学会,2015.
- [4] 潘留杰,张宏芳,王楠,等. 陕西一次强对流天气过程的中尺度及雷达观测分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1):278-289.
- [5] 黄少妮,井宇,袁媛. 延安盛夏一次局地暴雨中尺度特征分析[J]. 陕西气象, 2015(3):1-5.
- [6] 孙建华,李娟,沈新勇,等. 2013 年 7 月四川盆地一次特大暴雨的中尺度系统演变特征[J]. 气象, 2015, 41(5):533-543.
- [7] 井喜,井宇,陈闯,等. 黄土高原 β 中尺度致洪暴雨特征及成因[J]. 气象, 2014, 40(10):1183-1193.
- [8] 王令,王国荣,孙秀忠,等. 应用多种探测资料对比分析两次突发性局地强降水[J]. 气象, 2012, 38(3):281-290.
- [9] 俞小鼎. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006.