

高萌,刘帆,王瑾婷,等. 关中一次大暴雨天气过程成因分析及陕西智能网格预报检验[J]. 陕西气象,2019(5):28-34.
文章编号:1006-4354(2019)05-28-07

关中一次大暴雨天气过程成因分析及 陕西智能网格预报检验

高 萌,刘 帆,王瑾婷,谢逸雯,牛乐田

(咸阳市气象局,陕西咸阳 712000)

摘 要:利用常规气象观测资料、西安多普勒雷达资料和 NCEP/NCAR $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料,对 2018 年 8 月 21—22 日陕西关中地区发生的暴雨天气过程进行综合分析,并就陕西智能网格对该次暴雨过程的降雨量预报进行了检验。结果表明:(1)关中地区位于冷涡底部冷空气和副高外围暖湿空气交汇区,低层“人”字型切变、西南暖湿气流、东北急流、低涡辐合和地面冷锋是该次暴雨过程的主要影响系统。(2)关中地区上空低层辐合、高层辐散为暴雨形成提供了动力条件,暴雨发生区上空的水汽辐合为暴雨的形成提供了水汽条件。(3)暴雨发生时,雷达图上出现大于 60 dBz 反射率因子,回波顶高达 9~12 km,风向辐合等有利于短时强降水发生的特征;VIL 大值区与强回波区、强降水中心区相对应。(4)陕西智能网格预报对系统性降水预报偏强,结果与实况基本一致;而对流性降水预报偏弱。

关键词:大暴雨;环流形势;水汽条件;动力条件;陕西智能网格预报

中图分类号:P458.121.1;P435

文献标识码:A

暴雨是我国主要的灾害性天气之一,易造成不同程度的洪涝灾害,导致堤防溃决、农作物被淹等,造成人员伤亡和经济损失。慕建利^[1]认为高空西风急流入口区右侧的动力强迫是对流层高层暴雨区辐散形成和加强的原因,动力强迫引起的非地转风是暴雨形成的原因之一。杜继稳等^[2]认为陕西关中地区地处青藏高原东北侧,独特的地理结构导致汛期暴雨频发,且具有降水时段集中、雨强大、局地性强、突发性强等特征。多年的研究表明,暴雨是各种尺度天气系统相互作用的结果,大尺度环流为暴雨的产生提供了有利的背景,中尺度对流系统则是暴雨产生的直接影响者^[3-5]。张弘等^[6]研究发现青藏高原东北侧突发性暴雨必定伴有中尺度辐合系统;王川等^[7]认为陕西夏季暴雨多与西太平洋副热带高压有关;沈娇娇等^[8]研究发现高层辐散、低层辐合的有利配置加上旺

盛深厚的垂直上升运动为暴雨发生发展提供动力抬升作用。

陕西智能网格预报是基于国家气象中心下发的指导预报产品和不同数值预报产品,采用动态交叉取优方法,制作以“精细、智能、一体化”为目标的陕西省范围内分辨率为 3 km \times 3 km 格点化温度、降水、风等共 11 个气象要素的定量预报产品^[9]。精细化智能网格预报改变了传统的预报制作方式,由之前 98 个县站的站点预报、模糊预报向数字化、精细化、智能化预报逐步转变,还将原来的间隔 12 h 预报优化为 72 h 内逐小时预报,使业务流程更加扁平高效,业务布局更加集约合理,业务技能更加客观智能,实现滚动制作、实时同步^[10]。

本文利用常规气象观测资料、西安多普勒雷达资料以及 NCEP/NCAR $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料,对

收稿日期:2019-04-10

作者简介:高萌(1989—),女,汉族,陕西渭南人,硕士,工程师,从事短期、短时天气预报及研究。

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-118)

2018年8月21—22日发生在陕西关中地区的大暴雨天气过程进行综合分析,进一步探讨陕西关中地区盛夏暴雨天气形成成因和发生机制,并对此次暴雨过程中陕西智能网格的降水定量预报结果进行检验,为今后暴雨预报提供预报经验。

1 过程概述

2018年8月21日16时至22日18时陕西关中地区出现一次区域性大暴雨天气过程,全省共249站雨量监测站降水量达到暴雨,暴雨落区主要位于渭北西部、关中西部、陕南中西部。其中关中地区(铜川、咸阳、宝鸡、西安局地)共28个雨量监测站降雨量达到大暴雨,最大降雨量在印台袁家山为152.1 mm。短时强降水发生时段主要集中在21日傍晚到22日凌晨。此次大暴雨过程具有范围广、历时短、强度大的特点,造成了宝鸡、咸阳、西安多地发生洪涝灾害。

2 环流形势和物理条件

2.1 环流形势特征

200 hPa 21日08时天气图上,南亚高压稳定存在,在 $39^{\circ}\text{N}\sim 47^{\circ}\text{N}$ 上空范围内存在一东西向高空西风急流,急流中心强度为58 m/s;20时西风急流仍维持东西向,且强度明显加强,其入口区右侧大于40 m/s的风速区范围增大,陕西处于急流南侧辐散区5个纬距处。500 hPa 21日08时天气图上,亚洲中高纬地区为稳定的两槽一脊环流形势,东亚大槽稳定,高压脊位于贝加尔湖附近,同时巴尔喀什湖附近有深厚冷涡存在,西太平洋上有台风“苏力”和“西马仑”生成并向西向北移动,受其影响,副热带高压北抬,东北冷涡向东北移动,在巴尔喀什湖冷涡底部不断有西北气流分裂东移南下,甘肃东部至四川北部有下滑槽东移;20时随着下滑槽缓慢发展东移,内蒙古—陕西西部一带为较深的低槽控制,受台风西移影响,副高位置稳定维持,因此陕西关中地区位于巴尔喀什湖冷涡底部南下的冷空气和副高外围暖湿空气交汇区,形成有利于暴雨发生的环流形势;22日08时,下滑槽持续东移至内蒙古—陕西中部地区且槽有所加深,关中地区受下滑槽前一致西南气流影响,降水持续。700 hPa上21日20时,甘肃东部和陕北—关中地区有一人字形切变,切变为降

雨提供了动力抬升条件,四川到陕西为一致的西南风;随着冷空气南压,22日08时甘肃东部切变缓慢东移至陕北—关中西部—陕南西部地区,在高空500 hPa下滑槽下方有低涡生成。850 hPa 22日08时陕西关中地区存在东西向弱切变,由于受台风影响,陕西东北侧有东北急流持续不断从华北移入陕西中部地区,不仅带来了东路冷空气,同时还对偏南气流起到阻挡截流作用,加强了水汽辐合(图1)。

21日20时地面图(图略)上贝加尔湖西南侧冷高压中心强度为1 015 hPa,地面冷锋位于关中地区,并不断东移南压,陕北北部处于等压线密集带,出现了8 m/s的大风。随着冷高压不断南压,22日08时,冷高压已完全影响陕西大部地区,并在陕北西部形成1 012.5 hPa的冷高压中心。正是700 hPa东西向切变和地面冷锋的配合触发了不稳定能量的释放和强降水生成。

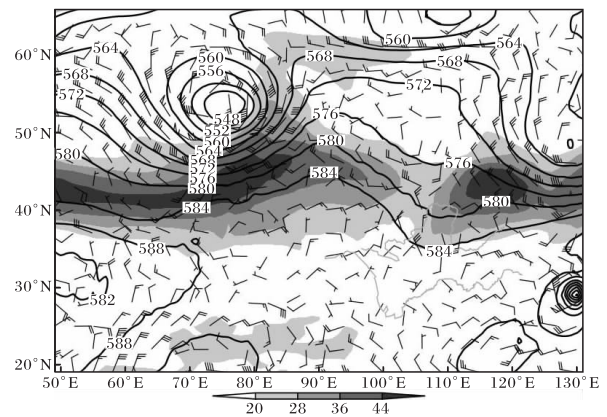


图1 2018-08-21T20 200 hPa 高空急流带
(阴影区,单位为 m/s)、500 hPa 高度场(实线,
单位为 dagpm)、700 hPa 风场

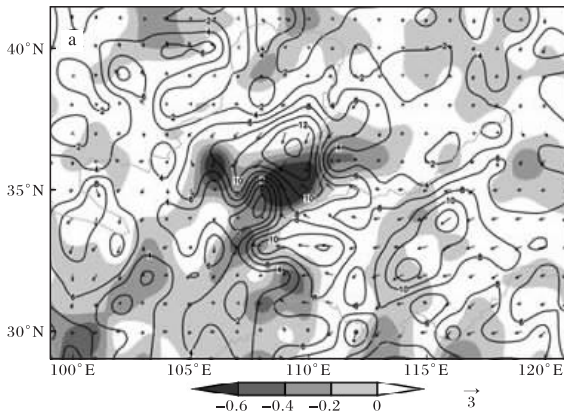
2.2 水汽分布特征

此次暴雨过程,700 hPa上陕西维持着一支西南暖湿气流的输水汽通道,同时巴尔喀什湖附近有强冷空气南下,二者在陕西境内交汇,产生较强的水汽辐合。从21日20时水汽通量及其散度图(图略)上可以看到,700 hPa上甘肃东部的水汽通量散度所表示的辐合区迅速东移至陕北—关中西部,最大值增大至 $-0.6 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,对应的关中地区水汽通量较前期显著增大到 $6\sim 10 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。22日08时水汽

通量散度所表示的辐合区减弱并东移。

由于前期一直受副高控制,水汽条件非常充足,850 hPa 陕西东北侧有水汽持续不断从华北流入陕西关中地区,21 日 20 时(图 2a)850 hPa 上强的水汽通量散度所表示的辐合区东移南压至关中地区,水汽通量和水汽通量散度较前期迅速增大至 $12 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 、 $-0.6 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。22 日 08 时关中地区处在水汽通量散度所表示的辐合区中,但其强度明显减弱。

沿 109°E 的水汽通量散度剖面图可发现,21



日 20 时(图 2b)水汽通量散度负值区位于 $1\ 000 \sim 800 \text{ hPa}$,关中地区(35°N 附近)高空存在明显的水汽辐合,此时关中地区自北向南先后出现降水。22 日 08 时(图略),关中地区仍处于水汽辐合区中,但辐合强度已减弱,降水强度随水汽辐合减弱而迅速减弱,关中、陕南降水趋于结束。

可见,本次大暴雨过程水汽主要来源于 700 hPa 西南暖湿气流和 850 hPa 东北急流,降水前后关中地区存在水汽辐合,暴雨发生时段水汽通量显著增大,造成关中地区出现区域性大暴雨。

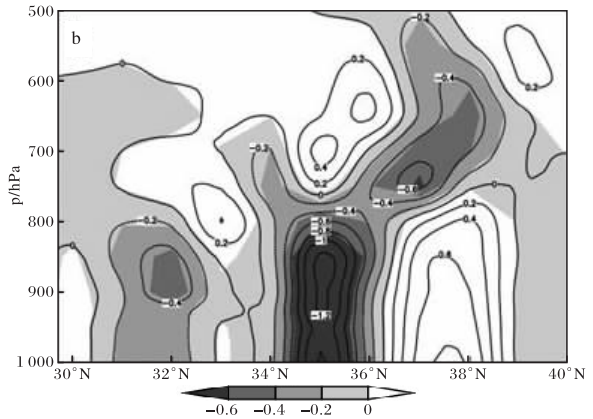


图 2 2018-08-21T20 850 hPa 水汽通量矢量(箭头)、水汽通量等值线(实线,单位为 $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)、水汽通量散度场(阴影为负值区,单位为 $10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)(a);沿 109°E 2018-08-21T20 的水汽通量散度纬向垂直剖面(b. 单位为 $10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)

2.3 动力条件

2.3.1 垂直速度场 沿 109°E 垂直速度剖面图可以看出,21 日 20 时(图 3),关中地区(35°N 附近)上空 $900 \sim 500 \text{ hPa}$ 有上升运动发展,强上升运动中心位于 850 hPa 左右,最大上升速度增大为 $-1.8 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$,结合前面分析,这可能是由于地面冷锋锋生产生的上升运动,上升运动使低层大气克服对流抑制,达到自由对流高度,释放不稳定能量,产生对流降水。随着冷空气进一步南压,22 日 02 时关中地区处于冷暖空气交汇区,最强上升运动区位于 $800 \sim 700 \text{ hPa}$ 。22 日 08 时,强上升运动中心依然维持在 35°N 以北,上升运动高度有所降低,但强度略减弱至 $-1.5 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$ 。随着上升运动减弱,陕西关中地区大暴雨逐渐结束。

度区,但强度较小,而在 $600 \sim 400 \text{ hPa}$ 和 300 hPa 以上分别有两个强的负涡度区,强度均为 $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,近地面负涡度较弱。22 日 08 时,低层 $900 \sim 600 \text{ hPa}$ 正涡度区迅速增大,高层负涡度区减弱。

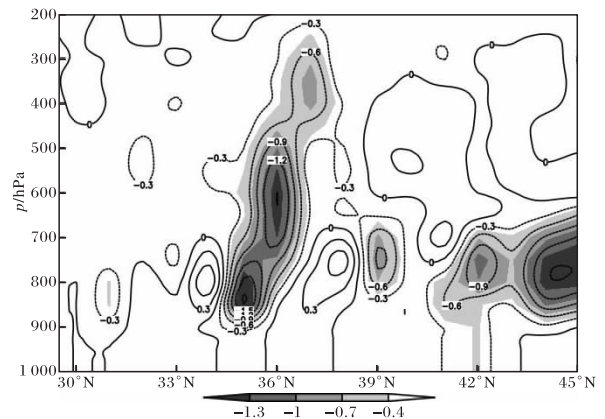


图 3 2018-08-21T20 沿 109°E 的垂直速度剖面图(单位为 10^{-3} hPa/s)

2.3.2 涡度场和散度场 从涡度场分析可见,21 日 20 时(图 4a) $900 \sim 700 \text{ hPa}$ 关中地区处于正涡

散度场上,21日20时(图4b)600 hPa上关中地区上空有辐散值为 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐散区存在,而1000~800 hPa有大范围强辐合区,中心值为 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,22日08时降水结束时,高低层辐散

辐合强度迅速减小。可见本次大暴雨过程中关中地区处于低层辐合高层辐散的形势场中,这种有利的系统配置,便于产生强的上升运动,为关中地区大暴雨发生提供了有利的动力环境条件。

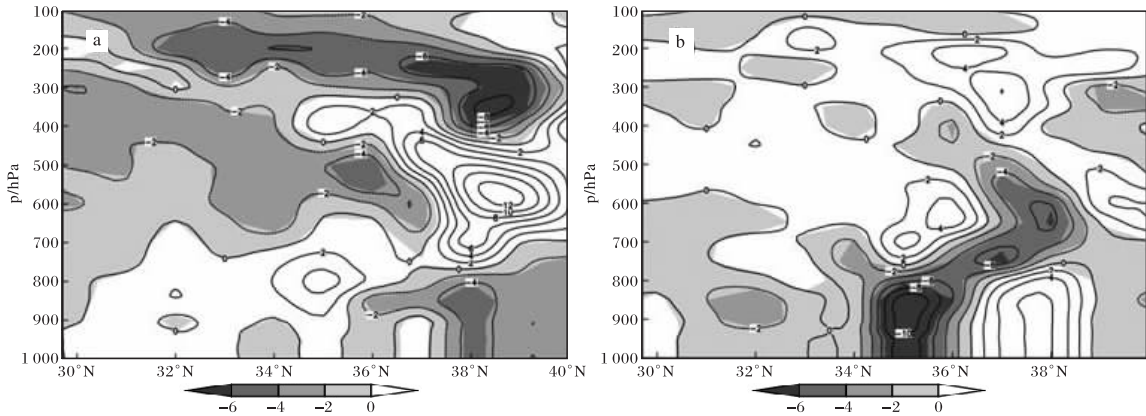


图4 2018-08-21T20(a)涡度场、(b)散度场分布图(阴影区为负值,单位为 10^{-5} s^{-1})

2.4 雷达回波特征

8月21日14:30西安多普勒雷达 1.5° 仰角反射率因子图上,关中西北部和南部有孤立的多个雷暴单体生成,造成该区域小范围阵性降水,16:00开始,在关中西部出现大范围雷达回波,此后不断发展加强并向东偏北方向移动。18:00,多个雷暴单体已发展成稳定的大范围多单体对流系统,在系统移动方向前沿不断有发展旺盛的对流单体生成,造成系统前沿出现短时强降水。20:59(图5a)该对流系统移至扶风(白圈内),中心强度达60 dBz以上的雷达回波维持6个体扫,速度图上(图5b)为明显的径向辐合,垂直累计液态水含量(VIL)(图5c)达到 50 kg/m^2 ,此时雷达回波顶高达9~12 km,一小时累计降水(OHP)(图5d)上显示在扶风县区内有31.7~50.8 mm的降雨量,对应的扶风召公站小时雨量达到了53.6 mm;随后对流风暴持续东移至杨凌,21:22反射率因子中心强度为63 dBz,VIL维持 50 kg/m^2 ,回波顶增高至16 km,速度图上维持辐合,此时杨凌自动站在22:00出现了1小时为42.2 mm的降雨量。此后该系统不断东移,咸阳南部和西安南部出现短时强降水。22日00:00,对流风暴逐渐分散并减弱,以稳定性降水回波为主,此时回波顶高降低至5~8 km,08:00以后雷达回波基本消失,降水趋于结束。

3 陕西智能网格预报检验

此次关中地区暴雨天气过程主要降水时段在21日20时—22日20时,因此对该时段的陕西智能网格预报结果与降水实况进行对比。可以看出,智能网格预报准确预报了此次暴雨的开始和持续时间。智能网格预报19日20时起报的未来72小时(图6a)预报结果显示关中地区将会出现大雨,宝鸡西南部、西安和铜川局地会出现暴雨,与实况对比可以看出对宝鸡、西安和铜川暴雨预报的范围偏小,强度明显偏弱。20日20时起报的未来48小时预报结果显示,关中南部以中到大雨为主,咸阳北部和铜川北部将会出现暴雨。与实况对比,48小时暴雨区预报较实况位置偏北(图6b)。随着智能网格预报模式调整,21日20时起报的未来24小时(图6c)铜川、西安西部、咸阳有暴雨,预报的暴雨落区与实况最为吻合。从智能网格预报的调整可以看出,随着时间临近,模式对暴雨范围调整,关中北部暴雨预报范围减小,强度减弱,而关中南部地区降水强度预报加强,与实况暴雨落区较为一致。

结合8月21—22日雷达和卫星云图,可将此次暴雨天气过程降水分为系统性降水、对流性降水和系统-对流混合降水,现选取长武、武功、扶风和郿邑区(图7)进行分析。21日18:00—22:00

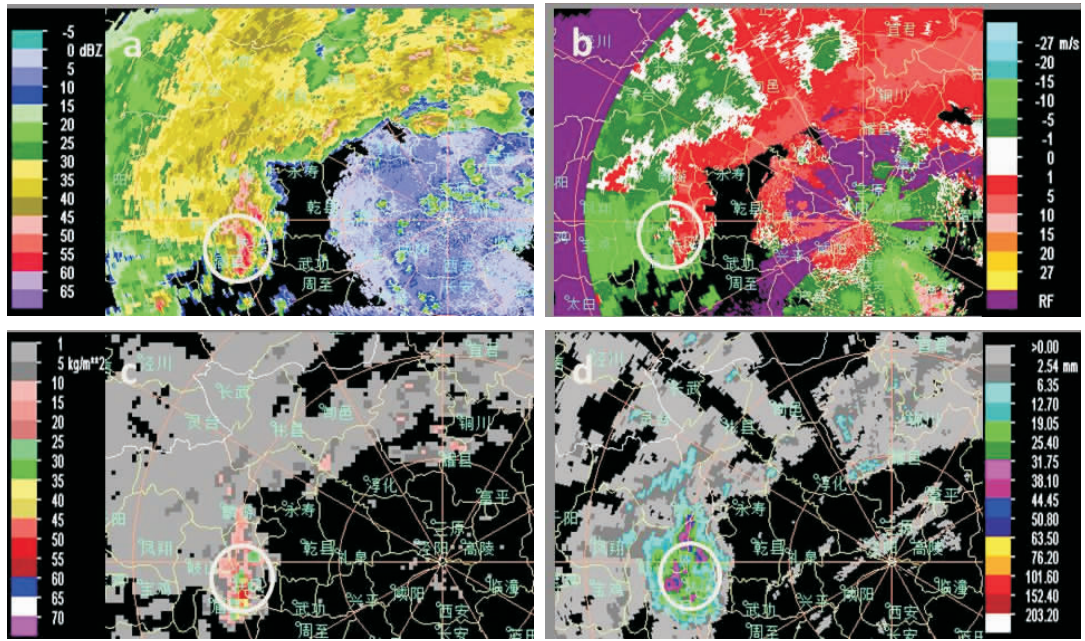
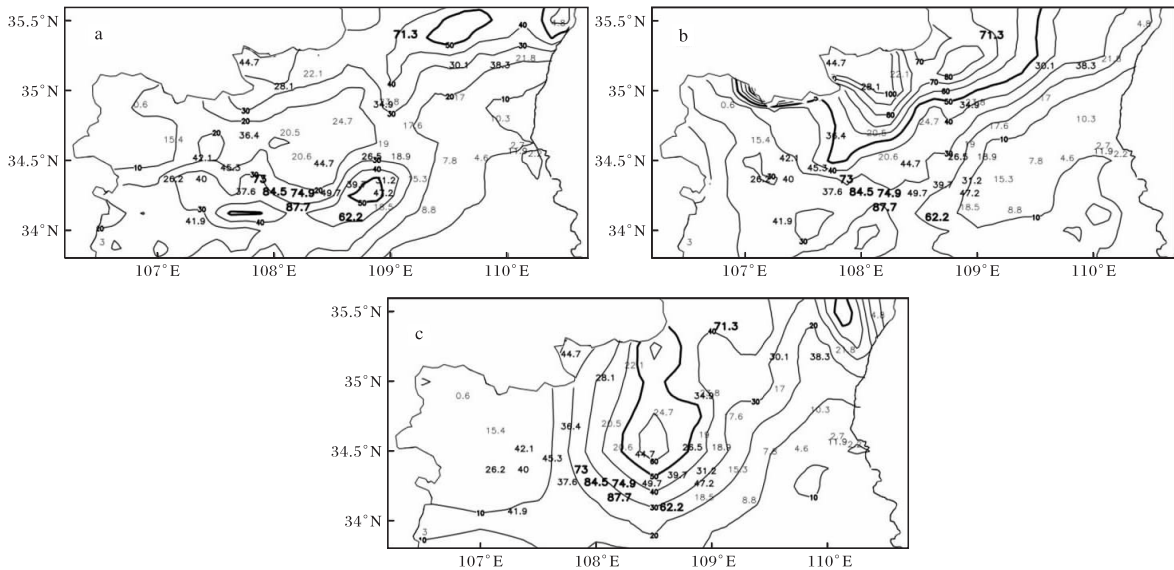


图5 2018-08-21T20:59 1.5°仰角西安多普勒雷达探测产品(白圈内为扶风)(a. 反射率因子 R,单位为 dBz; b. 径向速度 V,单位为 m/s;c. 垂直累计液态水含量 VIL,单位为 kg/m³;d. 一小时累计降水 OHP,单位为 mm)

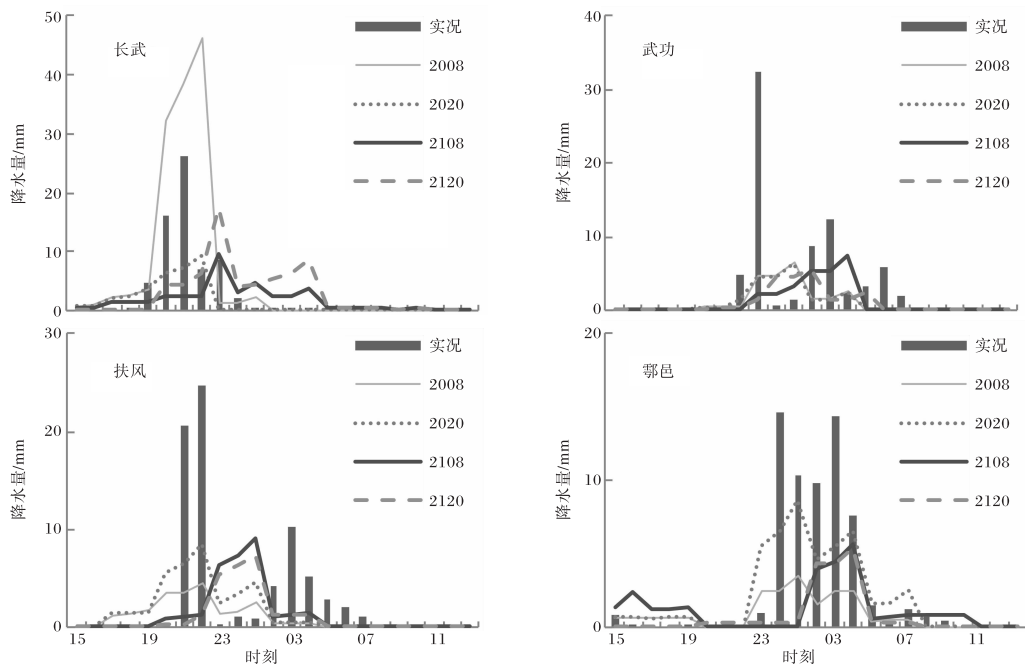


黑色等值线为智能网格预报,粗实线为 50 mm 等值线,填值为降水实况。

图6 陕西智能网格预报与降水实况对比(a. 2018-08-19T20 起报未来 72 小时降水量预报; b. 2018-08-20T20 起报未来 48 小时降水量预报;c. 2018-08-21T20 起报未来 24 小时降水量预报)

长武出现系统性降水,智能网格预报降水的开始时间和持续时间与实况较吻合;武功和扶风在 21:00—23:00 出现对流性短时强降水,智能网格预报对此时段的短时强降水预报量级偏小,22 日 00:00 后降水调整为系统性降水,智能网格预报迅速调整,预报结果较好;22 日 00:00—05:00 鄂

邑区出现系统性降水,智能网格预报对主要降水时段和降雨量级的预报和实况较为一致。因此系统性降水为主时,陕西智能网格预报较好,结果与实况基本一致;对流性降水起主要作用时,陕西智能网格预报偏弱,结果与实况相比量级偏小,在预报中可以根据大气环境条件进行订正。



(黑色等值线为智能网格预报,柱状为降水实况)

图7 陕西智能网格预报 2018-08-21T15—22T13 小时降雨量

4 结论

(1)此次暴雨发生在巴尔喀什湖冷涡底部南下冷空气和副高外围暖湿空气交汇区,低层“人字”型切变、西南暖湿气流、东北急流、低涡辐合和地面冷锋是该次暴雨过程的主要影响系统。

(2)700 hPa“人”字型切变为降雨提供了动力抬升条件;850 hPa 冷空气南压、低涡辐合和地面冷锋触发了关中地区不稳定能量的释放;700 hPa 西南暖湿气流和 850 hPa 东北急流为暴雨区输送水汽。低层辐合、高层辐散,再加上强烈的上升运动,为暴雨的产生提供了动力条件。

(3)此次暴雨过程雷达图上,反射率因子强,回波顶高,VIL 的大值区与强回波区、强降水中心区位置有很好的对应,当 VIL 中心值持续在 50 kg/m^2 时,关中局地出现小时雨强超过 30 mm 的短时强降水。

(4)陕西智能网格预报中准确预报了此次区域性暴雨过程的落区、降水开始时段、持续时间。当系统性降水为主时,陕西智能网格预报结果与实况基本一致;而对流性降水起主要作用时,陕西

智能网格预报结果与实况相比,量级偏小,在预报中可以根据大气环境条件进行订正。

参考文献:

- [1] 慕建利,李泽春,谌芸,等. 一次陕西关中强暴雨中尺度系统特征分析[J]. 高原气象,2014,33(1):148-161.
- [2] 杜继稳,张宏,孙伟,等. 突发性暴雨的气候、降水和环境场特征分析[C]. 天气预报技术文集,北京:气象出版社,2002:118-122.
- [3] 梁生俊,王培,高守亭. 一次陕西初夏暴雨过程的数值模拟及诊断分析[J]. 气候与环境研究,2013,18(1):12-22.
- [4] 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):302-307.
- [5] 张雅斌,马晓华,冉令坤,等. 关中地区两次初夏区域性暴雨过程特征分析[J]. 高原气象,2016,35(3):708-725.
- [6] 张宏,孙伟. 初夏青藏高原东侧突一次特大暴雨的综合分析[J]. 高原气象,2005,24(2):232-239.
- [7] 王川,李萍云. 2010年陕西两次区域性暴雨过程对比分析[J]. 陕西气象,2011(4):12-16.

李萍云,赵强,王楠,等. 2005—2018年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象,2019(5):34-39.

文章编号:1006-4354(2019)05-34-06

2005—2018年陕西短时强降水时空分布特征

李萍云,赵强,王楠,屈丽玮

(陕西省气象台,西安 710014)

摘要:利用陕西省99个国家级气象站逐小时降水量资料,分析了2005—2018年5—10月陕西短时强降水时空分布特征,结果表明:(1)2005—2018年陕西极值雨强呈振荡减小趋势,7月出现的强降水累计频次最多,而8月极值雨强最大;短时强降水主要发生在午后到夜间,日变化呈单峰分布,强降水频次峰值出现在17—00时,但极值雨强易出现在22—00时。(2)陕南为陕西短时强降水高发区,极值雨强可达40~80 mm/h,镇巴、平利雨强可达90 mm/h;榆林北部特别是西北部短时强降水日数少,极值雨强小,最大不超过50 mm/h;关中平原地区短时强降水日数少,但极值强,最大可达101.5 mm/h。5—10月陕西各地区短时强降水日、极值雨强有明显月际差异,7—8月短时强降水出现的范围广,日数多,强度大;5、6和9月范围、日数及强度均较小。(3)陕西各区域短时强降水日变化差异明显,陕北西部、关中西部呈单峰型,陕北东部、关中东部双峰明显,陕南日变化相对较小。陕西极值雨强主要出现在17—23时,关中东部、安康极值雨强多出现在19时,商洛极值雨强多出现在18时。

关键词:短时强降水累计频次;短时强降水日;极值雨强;时空分布;陕西

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

短时强降水是一种典型的强对流天气现象,由空气强烈的垂直运动造成,常伴随有雷电、大风、冰雹等天气,易造成明显的城市内涝、中小河流水位暴涨、甚至是地质灾害等气象灾害及其衍生灾害,对人民生命财产安全构成重大威胁。此类天气具有历时短、雨强大、局地性强等特点,很多学者利用小时降水量资料分析其时间、空间分布特征。如:2012年彭芳^[1]等利用贵州区域84测站1991—2009年汛期(4—9月)逐小时降水资料统计了贵州省短时强降水时空特征;2015年鲁

俊^[2]利用安徽省1995—2010年逐小时降水量数据得到了安徽省短时强降水的高分辨率时空分布特征;杨学斌等^[3]利用山东2006—2015年5—9月123个国家级气象观测站10年逐小时降水量资料,统计分析了山东短时强降水的时空分布特征。对于陕西短时强降水的时空分布也有研究,2014年蔡新玲等^[4]利用1961—2011年陕西省23个气象站的逐时降水量资料,分析了汛期(5—9月)降水时数、小时雨强、极端强降水时数和极端降水强度的时空变化,指出短时强降水时数和强

收稿日期:2019-03-31

作者简介:李萍云(1982—),女,汉族,山西夏县人,硕士,高工,主要从事短临天气预报与研究。

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-115)

[8] 沈娇娇,徐虹,李建科,等.渭河流域2011年9月16—19日致洪暴雨诊断分析[J].陕西气象,2012(5):12-17.

[9] 胡皓,薛春芳,潘留杰,等.陕西现代气象一体化格点预报平台简介[J].陕西气象,2017(2):22-24.

[10] 王建鹏,薛春芳,潘留杰,等.陕西省精细化网格预

报业务系统技术方法[J].气象科技,2018,10(5):910-918.

[11] 孙建华,周海光,赵思雄.2003年7月4~5日淮河流域大暴雨中尺度对流系统的观测分析[J].大气科学,2006(6):1103-1118.