毕旭，王丽，张雅斌，等. 陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征及预警技术[J]. 灾害学，2019，34(2)：122 - 127. [BI Xu，WANG Li，ZHANG Yabin，et al. Characteristics and Early Warning Technology of Short - time Rainstorm along the Northern Side of Qinling Mountains in Shaanxi Province[J]. Journal of Catastrophology，2019，34(2)：122 - 127. doi：10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.023.]

陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征及预警技术*

毕 旭[1]，王 丽[1]，张雅斌[1]，雷晓英[1]，罗 慧[1]，马利平[2]

（1. 西安市气象局，陕西 西安 710016；2. 西安理工大学，陕西 西安 710048）

摘 要：通过加密观测资料分析 2015 年 8 月 3 日和 2016 年 7 月 24 日西安近年来灾害最严重的两次暴雨过程，总结陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征及其次生灾害预警技术。结果表明：关中处于稳定少动的西太平洋副热带高压西北边缘，前期高温、上干下湿层结和午后低层超绝热状态，为短时暴雨提供了有利发展环境，西风槽与近地层切变线是暴雨直接影响系统。伴随冷锋过境，午后西北方向咸阳、铜川一带地面偏北风跃增是短时暴雨有利触发因子。暴雨位于地面 3 h 正变压中心至东侧大梯度区、切变线交汇点南侧，对流云团之间 TBB 梯度大值区附近。伴随 TBB 中心降至 -65℃以下，周边出现最大雨强。不稳定层结和低层超绝热状态下，跟踪研判雷达上秦岭北麓沿山一带快速发展增强、回波中心像素点反射率大于 60 dBz 的孤立单体，可提前 2 h 以上发布短时暴雨预警。对于秦岭北麓洪灾高风险区，在强降水发生有利环境条件下，敏感时段要提前尽早发布暴雨预警信号，宁空勿漏，宁高勿低。基于强降水时空高分辨精细估计驱动的 GAST 模型数值模拟分析，为山洪灾害精细化预警提供了有效手段。

关键词：短时暴雨；GAST 模型；预警技术；秦岭北麓；陕西

中图分类号：X43；X915.5；P642　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000 - 811X(2019)02 - 0122 - 06

doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2019.02.023

秦岭北麓一带地形坡度大，周边河流峪口众多，是洪涝灾害高暴露区和脆弱区[1]，强降水次生衍生灾害频发[2-4]。随着“一带一路”亚欧合作交流国际大都市与国家中心城市建设，西安周边气象次生衍生灾害潜在风险增大。2015 年 8 月 3 日，西安出现短时大暴雨天气(简称“0803”暴雨过程)，多个区县雨量突破历史极值，山洪泥石流引发严重人员伤亡和基础设施破坏。其中，泥石流漫道导致陇海铁路西安段连续中断 2 d，长安区王莽街道小峪河村突发山洪，多人伤亡失踪。2016 年 7 月 24 日，西安城区出现破历史记录的暴雨(简称“0724”暴雨过程)，并引发严重城市内涝，导致地铁小寨站进水关闭，附近交通瘫痪，咸阳机场多趟航班延误或取消。以上两次暴雨过程人员伤亡和经济损失严重，极端性强，社会影响大。

气象工作者从不同角度出发对西安周边强降水天气进行了大量分析研究[5-12]。近年来，时间、空间高分辨率观测手段为进一步深入暴雨中尺度特征规律认识提供了更为丰富细致的资料[13-17]。本文应用自动气象站、风云卫星、多普勒雷达资料和高分辨水文模型，结合预报预警服务和灾情实况调查，分析总结“0803”、“0724”暴雨过程，以期进一步深化陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征规律认识，提高极端天气及其次生衍生灾害精细化预警服务水平。

1 天气实况与灾情

2015 年“0803”暴雨过程发生之前，连续 10 d 西安每日最高气温均在 37 ℃以上，8 月 2 日最高气温超过 40 ℃。3 日午后，西安多云转阴，中南部区县在傍晚前后出现短时暴雨(图 1a)。期间，长安区引镇大峪 17 - 18 时降雨 86.3 mm/h，日降雨量(148.6 mm)破建站历史记录；临潼区本站 18 - 19 时降雨达 76.1 mm/h，日降雨量(116.1 mm)破建站历史记录；临潼区骊山军区疗养院、兵马俑站 19 - 20 时降雨分别达 77.7 mm/h 和 73.5 mm/h；蓝田县史家寨 17 - 20 时 3 h 降雨超过 75 mm。暴雨引发严重山洪，10 人死亡，4 人失踪，共造成 19 176 人受灾，农作物受灾 1 417.3 hm^2，其中绝收面积 14.4 hm^2。2016 年“0724”过程当日，西安午后大部地方出现 37 ℃以上高温，傍晚城区突降暴雨(图 1b)，19 - 21 时小寨站雨量达 115.6 mm，

* 收稿日期：2018 - 10 - 18　　修回日期：2019 - 01 - 15

基金项目：科技部科技基础性工作专项(2013FY112500)；国家自然科学基金(11872295)；中国气象局预报员专项(CMAYBY2017 - 074)

第一作者简介：毕旭(1974 -)，男，陕西米脂人，高级工程师，从事天气预报及相关技术研发应用. E-mail：504556061@qq.com

通讯作者：王丽(1986 -)，女，陕西汉中人，硕士，工程师，主要从事气象服务研究应用. E-mail：53589083@qq.com

日雨量突破城区历史记录。暴雨引发严重内涝，城区 39 处路段出现短时严重积水，多辆汽车被淹，地铁小寨车站停运，咸阳机场 74 架航班延误，11 架取消，共造成 8 516 人受灾，农作物受灾面积 672.9 hm^2，农作物成灾面积 619.8 hm^2。

2　环流背景

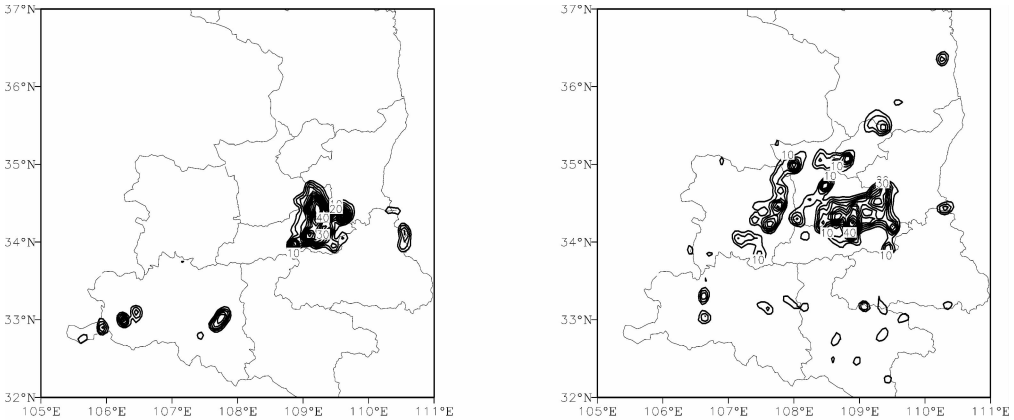
两次暴雨过程当日 08 时，200 hPa 上，贝加尔湖以东至蒙古国东部高空有低涡持续发展，新疆至内蒙古以东地区出现大范围 30 m/s 以上急流；500 hPa 上，西太平洋副热带高压控制大陆东部，588 dagpm 西脊点在 30°N、110°E 附近，东北冷涡底部、内蒙古中部至陇东地区为低槽区，宁夏、甘肃一带有西风槽发展、东移，关中处于副热带高压西北侧偏南暖湿气流之中；700 hPa 上，河套至陇南一带受明显切变线影响；850 hPa 上，西安位于切变线南侧，为 4～8 m/s 偏南风，比湿 15 g/kg。暴雨当日 20：00，河套以北高空西风急流变化不大。“0803”过程东北冷涡明显南压，副热带高压略微减弱、东退，陇东南一带低槽移至山东、河南一带；“0724”过程东北冷涡东移，副热带高压略有加强、西伸，宁夏一带西风槽东移至内蒙古中部。地面上，“0803”过程暴雨发生前 6 h，四川、山西至河南一带为低压区，河套至陇东为高压区，山东北部、河南北部至陕西中部一带受大范围切变线控制，午后冷锋经过关中地区；“0724”过程暴雨发生前 6 h，陕西周边受大范围热低压控制，傍晚前后四川盆地低压略有加强，山西南部、陕西东南至四川一带受弱的切变线影响。

3　暴雨中尺度特征

两次过程当日 08：00 西安站 T－lnP 图上（图 2），温湿层结曲线呈开口向上的喇叭口形状，850 hPa 以下存在逆温层，对流不稳定能量 CAPE 大于 550 J/kg，K 指数大于 36 ℃，沙氏指数 SI 小于 0 ℃，对流抑制能量 CIN 大于 100 J/kg，本地存在明显的对流不稳定能量，低层逆温与对流抑制能量有利于不稳定能量聚集。当日 14：00，“0803”、“0724”过程 CAPE 分别达 807 J/kg、3054 J/kg，CIN 减至 0 J/kg；受前期高温和下垫面加热等因素影响，700 hPa 以下温度层结曲线近似平行于干绝热线，为超绝热状态，极有利于对流发展。两次过程 850 hPa 与 500 hPa 温差均由早晨 24 ℃增至午后到傍晚 28 ℃。比较来看，两次过程相比关中一般区域性暴雨过程[6-7]，上部干层更为明显。在上述有利的热力、层结条件下，当逆温层与对流抑制能量破坏减弱后，显著不稳定能量强烈释放，最终形成西安短时大暴雨天气。

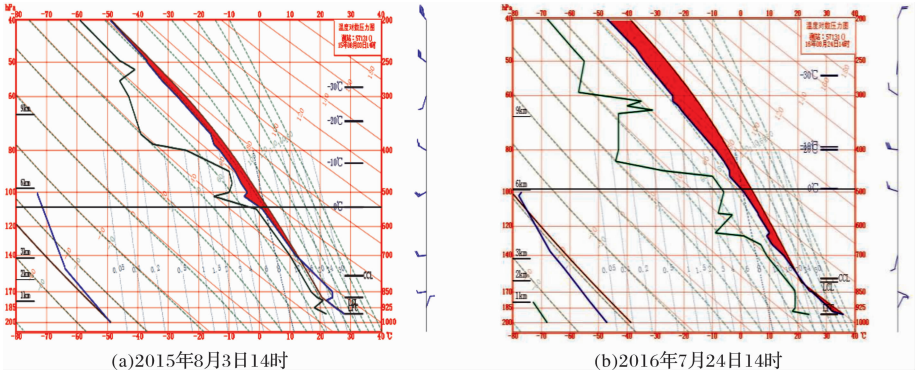
地面自动站资料分析表明，伴随低层切变线影响，两次过程午后关中西部一带均出现东南方向移动的 3 h 变压显著增大区（图 3），对应冷空气活动，降水零散分布在正变压区附近。伴随强对流发展成熟，东西跨度约 200 km 的正变压区向东扩展，中心突增至 4 hPa 以上，强降水趋于集中，位于 2 hPa 正变压区内部，30 mm/h 以上雨强靠近正变压中心至其东部大梯度区西侧。对应 3 h 变压变化，两次暴雨发生前 2 h 左右，甘肃东南部至关中西北部一带，有明显的冷温中心向东移动，对应西安偏北偏西方向邻近的铜川、咸阳地区偏北风跃增、温度下降 5 ℃以上，周边形成冷锋：2015 年 8 月 3 日 17：00，西安（为 2 m/s 西南风，温度 31 ℃）与耀州（为 6 m/s 东北风，温度 25 ℃）、咸阳（为 8 m/s 西风，温度 25 ℃）之间出现明显的风场和温度不连续；2016 年 7 月 24 日 17：00，西安（为 4 m/s 东南风，温度 37 ℃）与耀州（为 8 m/s 西北风，温度 29 ℃）、咸阳（为 4 m/s 西北风，温度 28 ℃）之间也出现明显的风场和温度不连续。之后伴随降水东移扩大，陕西全境转为正变压，关中一带锋区消失。

2015 年 8 月 3 日午后（图 4a），上游地区咸阳、宝鸡附近出现长约 300 km、宽约 100 km 的带状中尺度对流云团（简称“西部云团”），其偏北局地红外云顶亮温 TBB 中心小于－50 ℃；同时，商州至西安东部有 TBB 中心小于－50℃、直径小于 100 km的近圆形对流云团（简称“东部云团”）快速发



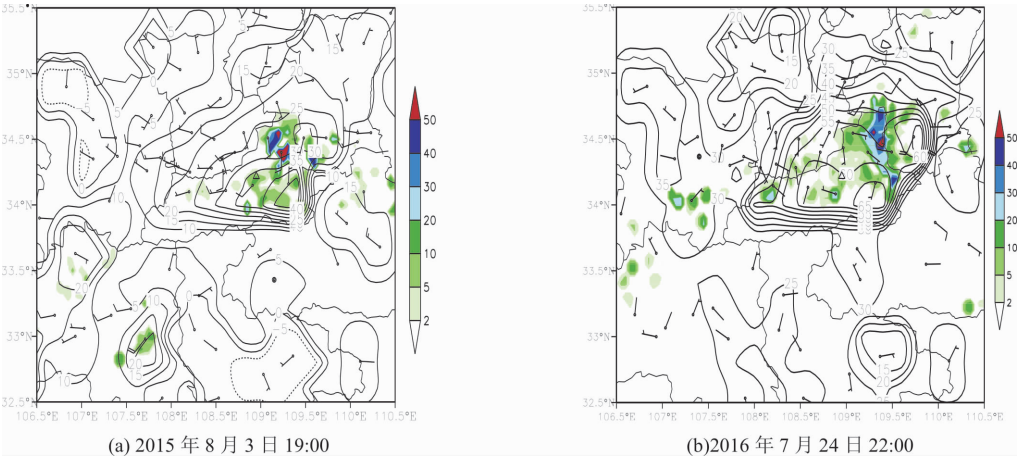
(a)2015 年 8 月 3 日 17:00-20:00　　(b)2016 年 7 月 24 日 16:00-22:00

图 1　两次致灾暴雨过程降雨量分布（单位：mm）



(a)2015年8月3日14时 (b)2016年7月24日14时

图 2 两次致灾暴雨西安泾河站 T – lnP 图



(a) 2015 年 8 月 3 日 19:00 (b)2016 年 7 月 24 日 22:00

图 3 两次致灾暴雨地面风场(风杆，单位：m/s)、小时雨强(阴影，单位：mm/h)及过去 3 h 变压(等值线，单位：0.1 hPa)分析

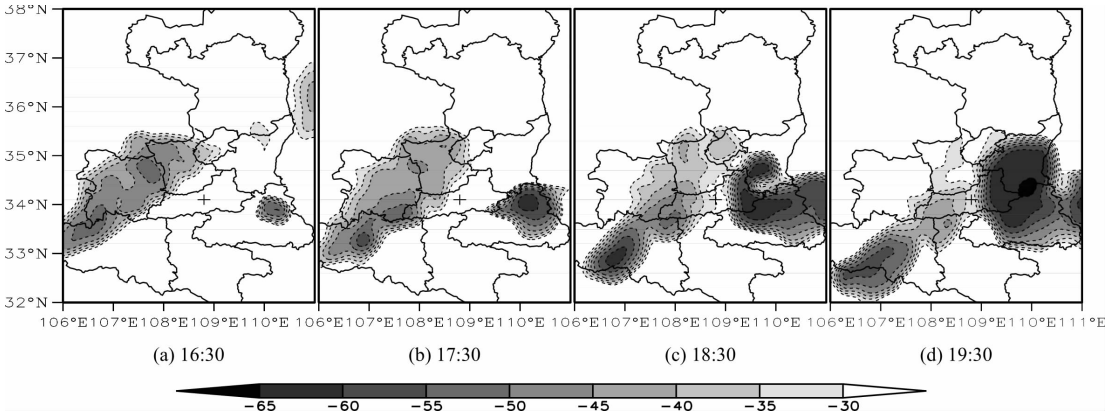


图 4 2015 年 8 月 3 日不同时次 TBB(阴影，单位：℃)

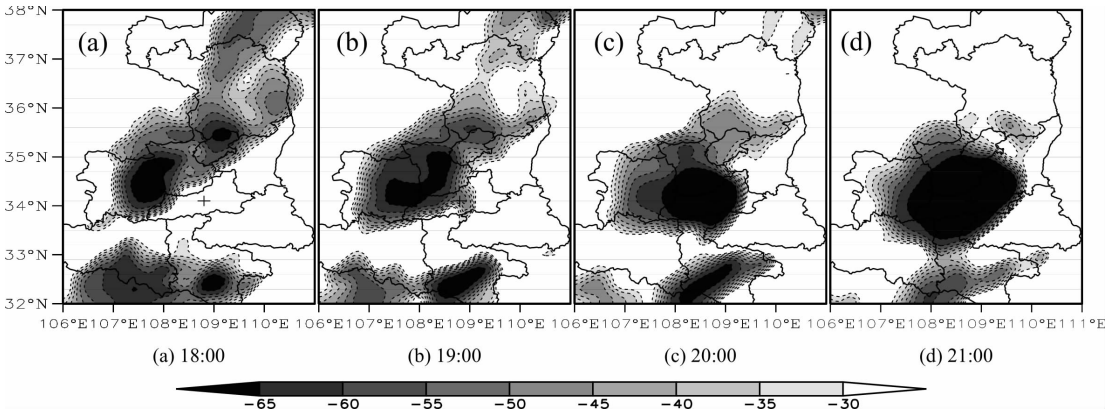


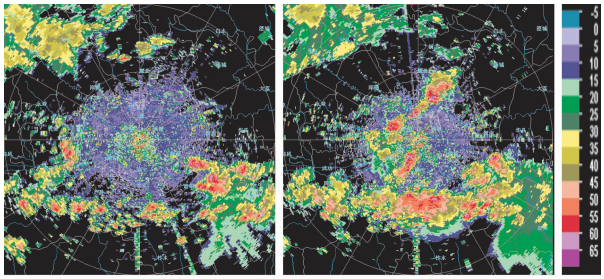
图 5 2016 年 7 月 24 日不同时次 TBB(阴影，单位：℃)

展。17：30(图 4b)，西部云团发展东移，TBB < －50 ℃中心位于西安西南边界，西安周边开始出现强降水；同时，东部云团继续发展扩大，TBB 中心 < －60℃。18：30(图 4c)，西部云团主体东移影响关中中部，西安南部出现最大雨强(86.3 mm/h)，东部云团快速发展，云体范围成倍扩大，其东北侧受冷空气夹卷出现明显暗影，对流云顶位于西安、商州交界，强降水持续。19：30(图 4d)，西部云团明显减弱，东部云团强烈发展北扩至关中东部，渭南南部 TBB 中心降至 －65 ℃以下，西安东部出现最大雨强(73.5 mm/h)。随后，中尺度云团继续东移，3 h 之后明显减弱，强降水结束。

2016 年 7 月 24 日午后(图 5a)，陕北至关中西北部一带有长约 500 km、宽约 200 km 的相对松散的中 α 尺度对流云团(简称“北部云团”)向东发展加强，延安中南部 TBB 中心达 － 60℃；同时，陕南南部汉中、安康局地出现长约 100 km、TBB 中心 > －50℃的中 β 对流云团(简称“南部云团”)。19：00(图 5b)，对应甘肃东南部至关中西北部一带偏北冷空气侵入，北部云团南部的宝鸡、咸阳交界处对流云顶呈弓形向东南方向显著弯曲，TBB 中心降至 －65 ℃，西安以东地区尚无明显对流云团发展。20：00(图 5c)，北部云团进一步发展东移、影响关中中西部，TBB < －65℃区域向东扩大至西安中西部地区，周边开始出现强降水。21：00(图 5d)，北部云团移至西安上空、呈近椭圆形，TBB 中心下降至 －70℃，与南部云团部分连接，TBB 中心附近、西安城区出现过程最大雨强(58.8 mm/h)。22：00 － 23：00，南北对流云团完全合并，TBB 中心区域移至西安东部局地，对应临潼出现过程最大雨强(62.0 mm/h)。

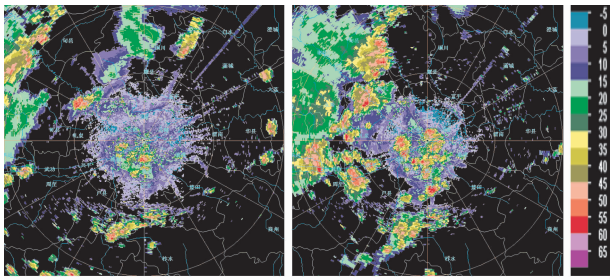
综上分析可见，两次暴雨过程陕西中南部午后对流云团发展加强，最大雨强时段 TBB 中心降至 －65℃以下。相比关中区域性暴雨云系[6,18]，短时暴雨云团距离河套以北高空西风急流较远，关中以北高层辐散较弱，强盛阶段云团北部无反气旋凸起的斜压叶状云系[5]。

2015 年 8 月 3 日午后至 15：30，低层切变线附近、咸阳至铜川一带有明显降雨雷达回波东移南压，西安中南部秦岭北麓仅为山脉杂波。15：45 前后(图 6a)，沿山一带出现反射率因子 50 dBz 以上、中心像素点 60 dBz 以上、零散孤立分布的小尺度强对流泡，山地地形作用明显。之后 1 h(图 6b)，对流单体快速发展扩大，形成中心区域强度大于 60 dBz、水平超过 100 km 的中尺度强对流回波带，周边开始出现短时暴雨。期间，45 dBz 以上强回波范围、高度突增，呈垂直塔状，回波质心低于5 km，降水效率高；中低层北风向南推进，秦岭北麓地形抬升加快垂直运动发展；高层北部冷空气向南侵入，整层位势不稳定层结加强，加快能量释放。17 － 20 时，强对流回波整体东移，中心强度维持 50 ~ 60 dBz，其主体先后经过长安、临潼和蓝田。



(a)15:45　　(b)16:55

图 6　2015 年 8 月 3 日西安泾河雷达组合反射率因子(单位：dBz)



(a)17:45　　(b)18:55

图 7　2016 年 7 月 24 日西安泾河雷达组合反射率因子(单位：dBz)

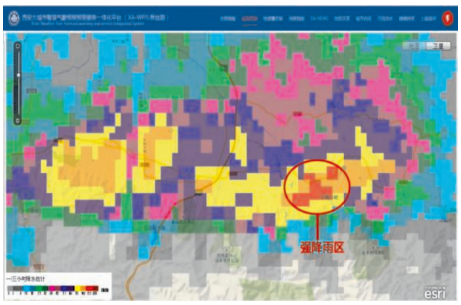
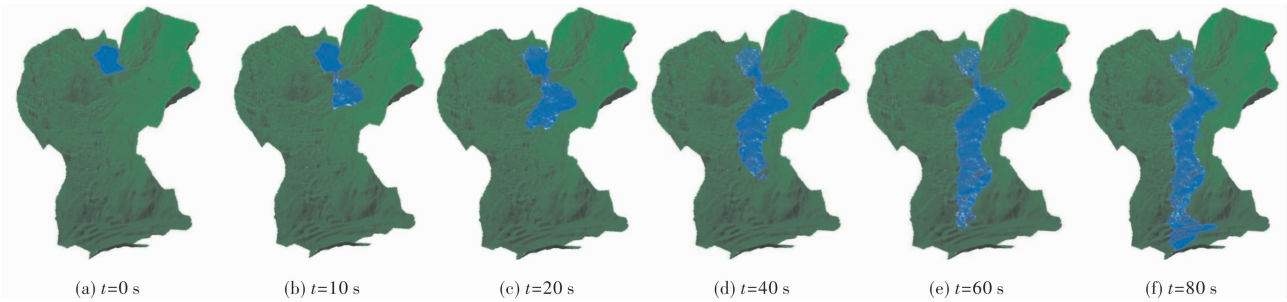


图 8　2015 年 8 月 3 日长安王莽小峪上游区域降水精细估计



(a) t=0 s　(b) t=10 s　(c) t=20 s　(d) t=40 s　(e) t=60 s　(f) t=80 s

图 9　“0803”暴雨过程山洪演进 GAST 模型数值模拟

2016 年 7 月 24 日从 16 时左右开始，咸阳至铜川一带，低层切变线附近也出现了东移南压的带状降水回波(图 7)，西安周边及上游回波演变与“0803”过程类似。综合两次过程多普勒雷达特征分析表明西安短时暴雨发生前 2 ~ 6 h，西北方向咸阳以西有 30 dBz 以上回波对应中尺度系统向西安附近移近，同期，秦岭北麓一带局地分散的对流单体迅速发展、增强，西北方向中尺度系统回波尚未移至西安境内之前，后者直接发展引发短时大暴雨。

4 山洪灾害数值模拟分析

长安区南部的王莽小峪村(山洪灾害发生地点)上游位于秦岭北麓深山区，周边无自动气象站，属于降水实况监测盲区。西安大城市预报预警服务一体化平台(XA-WFIS. 新丝路)提供的基于新一代多普勒雷达和自动雨量站卡尔曼滤波降水精细估计产品[2]，计算得到 8 月 3 日 16 – 19 时小峪村上游山区 3 h 降水量达约 155 mm(图 8)，第一时间为政府防汛部门开展应急决策指挥提供了客观定量的判决依据。

自然灾害中，气象次生衍生灾害约占 71%，洪涝灾害约占 36%。秦巴山区山洪泥石流灾害有其自身规律特征[19]。针对洪水演进和淹没过程高精度模拟，西安理工大学与英国纽卡斯尔大学联合开发了基于显卡加速技术的地表水流及伴生输移过程模型 GAST(GPU Accelerated Surface Water Flow and Associated Transport)。GAST 模型[20-21]通过 Godunov 格式有限体积法求解二维圣维南方程组，采用具有高性能和低成本优势的 GPU(Graphic Processing Unit)并行计算技术加速计算。

选取 2018 年 8 月 3 日 16：30 – 17：30 逐 6 min 的基于新一代多普勒雷达和自动雨量站卡尔曼滤波降水精细估计结果(中心位于 109°E、34°N，空间分辨率 0. 5 km 的 100 × 100 网格点阵数据)为气象输入驱动条件，经过网格空间降尺度处理，进行气象和地形网格匹配，再通过 GAST 模型(下垫面 DEM 地形分辨率为 5 m)对“0803”暴雨过程长安区王莽街办小峪河村的山洪灾害过程进行数值模拟，计算过程耗时约 0. 48 h。图 9 对应不同时刻长安小峪洪水模拟演进过程，短时暴雨在低洼区域迅速产流并形成地表径流，沟道中汇集形成的山洪快速向下游演进，80 s 之后洪水便从沟口上部 200 m 处演进至其底部，对应伤亡事故发生位置。对比灾情现场调查资料，模拟的最高洪水位置、横向宽度、转折走向、水流冲刷痕迹和调查实况基本吻合。

5 结论与讨论

(1)前期高温天气有利于对流不稳定能量增强积累，存在对流抑制能量与低层逆温，“上干下湿”层结和午后低层大气超绝热状态，为短时暴雨发展提供了有利环境。东移西风槽与近地层切变线是暴雨直接影响系统。伴随冷锋过境，咸阳、铜川一带地面偏北风跃增是西安短时暴雨有利触发因子。暴雨位于地面 3 h 正变压中心至东侧大梯度区、切变线交汇点南侧附近，在对流云团之间 TBB 梯度大值区。伴随 TBB 中心降至 – 65 ℃以下，周边出现最大雨强。

(2)咸阳以西中尺度降水系统东移南压移入并影响西安之前，秦岭北麓一带有分散性对流单体迅速发展、增强，后者直接发展引发短时大暴雨。因此，午后不稳定层结环境和低层超绝热状态下，在上游地区中尺度系统东移南压但尚未影响西安之前，密切跟踪研判雷达上西安南部秦岭北麓沿山一带快速发展增强、回波中心像素点反射率大于 60 dBz 的孤立单体，是提前 2 h 以上准确、及时发布暴雨预警信号的有效指标。

(3)GAST 模型分析表明，暴雨影响区域低洼地带，洪水 1 min 之后即可从沟口演进至沟底，引发次生灾害。针对秦岭北麓西安周边致洪高风险区，不同河流峪口尤其是人群活动密集场所，通过降水精细化估计输入驱动考虑下垫面复杂情况的 GAST 模型，可提前推演分析确立特定区域、引发不同等级洪水的降雨时空高分辨分布特征及其致灾阈值。预报暴雨发生时，匹配相关区域降雨时空特征及致灾阈值，可显著提升洪水风险预警的精细化和提前量。

(4)前期高温天气既增加了不稳定能量积累，也使得秦岭北麓峪口纳凉休闲群众明显增多，暴雨易损性风险增大。因此，在旱涝急转、节假日和上下班时间等敏感时段，要注意提前尽早发布暴雨预警信号，宁空勿漏，也要注意发布紧急程度更高的预警信号，宁高勿低。

参考文献：

[1] 徐玉霞. 基于 GIS 的陕西省洪涝灾害风险评估及区划[J]. 灾害学, 2017, 32(2)：103 – 108.

[2] 张雅斌, 杜继稳, 蔡蕊, 等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3)：28 – 34.

[3] 杜继稳. 降雨型地质灾害预报预警——以黄土高原和秦巴山区为例[M]. 北京：科学出版社, 2010：8 – 17.

[4] 赵景波，罗小庆，黄小刚，等. 西安周至渭河漫滩沉积特征与洪水变化[J]. 灾害学，2017，32(3)：23－28.
[5] 张雅斌，乔娟，屈丽玮，等. 西安“8.3”大暴雨的环境条件与中尺度特征分析[J]. 暴雨灾害，2016，35(5)：427－436.
[6] 张弘，梁生俊，侯建忠. 西安市两次突发性暴雨成因分析[J]. 气象，2006，32(5)：80－86.
[7] 刘勇，薛春芳. “6.29”西安突发性特大短时暴雨过程分析[J]. 陕西气象，2007(1)：1－4.
[8] 武麦凤，肖湘卉，曹玲玲，等. 两次台风远距离暴雨过程的对比分析[J]. 暴雨灾害，2013，32(1)：32－37.
[9] 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.
[10] 毕宝贵，刘月巍，李泽椿. 秦岭大巴山地形对陕南强降水的影响研究[J]. 高原气象，2006，25(3)：485－493.
[11] 刘冀彦，毛龙江，牛涛，等. 地形对2011年9月华西致灾暴雨强迫作用的数值模拟研究[J]. 气象，2013，39(8)：975－987.
[12] 韩宁，苗春生. 近6年陕甘宁三省5—9月短时强降水统计特征[J]. 应用气象学报，2012，23(6)：691－700.
[13] 牛淑贞，张一平，梁俊平，等. 郑州市两次短时强降水过程的环境条件和中尺度特征对比[J]. 暴雨灾害，2016，35(2)：138－147.
[14] 孙继松，戴建华，何立富，等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 气象出版社，2014：704－82.
[15] 高守亭，冉令坤，李小凡. 大气中尺度动力学基础及暴雨动力预报方法[M]. 北京：气象出版社，2015：24.
[16] 杨晓霞，吴炜，姜鹏，等. 山东省三次暖切变线极强降水的对比分析[J]. 气象，2013，39(12)：1550－1560.
[17] 井宇，陈闯，屈丽玮，等. 副高边缘西安地区一次短时暴雨分析[J]. 陕西气象，2018(4)：7－12.
[18] 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.
[19] 李永红，刘海南，杨渊，等. 秦巴山区泥石流动力学特征及致灾模式[J]. 灾害学，2018(1)：71－75.
[20] Hou J，Liang Q，Zhang H，et al. Multislope MUSCL method applied to solve shallow water equations[J]. Computers & Mathematics with Applications，2014，68(12)：2012－2027.
[21] 侯精明，李桂伊，李国栋，等. 高效高精度水动力模型在洪水演进中的应用研究[J]. 水力发电学报，2018，37(2)：96－107.

Characteristics and Early Warning Technology of Short-time Rainstorm along the Northern Side of Qinling Mountains in Shaanxi Province

BI Xu[1]，WANG Li[1]，ZHANG Yabin[1]，LEI Xiaoying[1]，LUO Hui[1] and MA Liping[2]
(1. *Xi'an Meteorological Bureau*，*Xi'an* 710016，*China*；2. *Xi'an University of Technology*，*Xi'an* 710048，*China*)

Abstract：Based on the analysis on the two most serious rainstorms in recent years in Xi'an on August 3，2015 and July 24，2016，we summarize the characteristics of short-term rainstorms caused by disasters in the northern foot of Qinling Mountains in Shaanxi Province and the early warning technology of secondary disasters. It is shown that Guanzhong is on the northwest edge of the western Pacific subtropical high，which is stable and less active. The high temperature in the early stage，the upper dry and lower wet stratification and the super-adiabatic state in the afternoon provide a favorable environment for the development of short-term rainstorm. The westerly trough and the near-stratum shear line are the direct systems of rainstorm. With the passage of cold front，the northward wind jump in the northwest of Xianyang and Tongchuan in the afternoon is a favorable trigger factor for short-term rainstorm. The rainstorm is located in the south of the junction point of the shear line and the large TBB gradient area between the convective clouds. With the TBB center dropping below －65 ℃，the maximum rainfall intensity appears around it. In the unstable stratification and low-level super-adiabatic state，the solitary monomer along the northern foot of the Qinling Mountains on the tracking radar with rapid development and enhancement and the reflectivity of the echo center pixels greater than 60 dBz can issue short-term rainstorm warning more than 2 hours in advance. For the high-risk areas of flood disaster in the northern foot of Qinling Mountains，under the favorable environment of heavy rainfall，the early warning signal of heavy rain should be issued in sensitive period，rather than leaking in the sky，rather high than low. The numerical simulation analysis of GAST model driven by precise spatial-temporal estimation of heavy rainfall provides an effective means for fine warning of mountain torrents.

Key words：short-term rainstorm；GAST model；early warning technology；northern foot of Qinling Mountains；Shaanxi Province