

郭莉,康晓甫,刘坤,等. 一次副高控制下

文章编号:1006-4354(2019)06-0006-06

一次副高控制下的局地大暴雨天气分析

郭莉,康晓甫,刘坤,周丹,孟明霞

(商洛市气象局, 陕西商洛 726000)

摘要:利用常规观测资料、FY-2E 卫星 TBB 资料、自动气象站降水量资料、NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐 6 h 再分析资料,对 2016 年 7 月 30—31 日商洛出现的局地大暴雨过程进行分析。结果表明:(1) 西太平洋副热带高压控制下,地面东路冷空气入侵是触发降水的主要原因;(2)暴雨区上空湿度明显增加,有突发性暴雨湿度变化特征;(3)暴雨出现在中尺度暴雨云团发展成熟阶段,暴雨站点上空 TBB 低值阶段和强降水出现时段基本吻合,TBB 升高时降水强度减小;(4)雷达基本速度图上出现低层气旋性辐合、高层反气旋性辐散特征,垂直液态含水量最大值所在位置与地面强降水落区基本相同。

关键词:东路冷空气;中尺度云团;TBB 峰值;多普勒雷达产品

中图分类号:P458.1211

文献标识码:A

暴雨是陕西夏季经常出现的灾害性天气之一,常给社会经济发展和人民生命财产带来严重影响。气象工作者对暴雨发生发展的机理、中小

尺度特征等做了大量研究。肖贻青等^[1]对西太平洋副热带高压控制下的一次区域性强对流暴雨成因进行分析,结果表明该过程的水汽来源主要是

收稿日期:2019-03-14

作者简介:郭莉(1988—),女,陕西商洛人,学士,工程师,主要从事短期天气预报及研究。

基金项目:陕西省气象局青年科研基金项目(2017Y-28)

暴环境条件与雷达回波特征[J]. 气象学报,2013,71(2):209-227.

[10] 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:中国强对流天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2014:22-161.

[11] 雷蕾,孙继松,魏东. 利用探空资料判别北京地区夏季强对流的天气类别[J]. 气象,2011,37(2):136-141.

[12] 曾明剑,张备,吴海英,等. 基于接近度概念的强对流天气预报方法研究[J]. 高原气象,2015,34(5):1357-1368

[13] 武麦风,安中浩,王旭仙. 一次“干”对流风暴的中尺度分析[J]. 干旱区研究,2009,26(2):282-286.

[14] 冉令坤,楚艳丽. 强降水过程中垂直螺旋度和散度通量及其拓展形式的诊断分析[J]. 物理学报,2009,58(11):8094-8106.

[15] 高守亭,冉令坤,李娜,等. 集合动力因子暴雨预报方法研究[J]. 暴雨灾害,2013,32(4):189-302.

[16] 冉令坤,周玉淑,杨文霞. 强对流降水过程动力因子分析和预报研究[J]. 物理学报,2011,60(9):099201.

[17] 高守亭,孙建华,崔晓鹏. 暴雨中尺度系统数值模拟与动力诊断研究[J]. 大气科学,2008,32(4):854-866.

[18] 曹洁,高守亭. 非均匀饱和大气中的广义位温[J]. 地球物理学报,2008,51(6):1651-1656.

[19] 周玉淑,朱科锋. 湿大气的广义位温与干大气位温及饱和湿大气相当位温的比较[J],气象学报,2010,68(5):612-616.

[20] 李萍云,王楠,屈丽玮,等. 热力散度垂直通量在延安强降水过程中的诊断分析[J]. 陕西气象,2015(2):1-6.

本地水汽积聚和辐合,锋面过境是触发机制;马晓华等^[2]对冷锋影响下西安一次对流性天气进行了研究,发现当冷锋移近和低空急流加强时,秦岭地形影响下触发不稳定能量释放,导致对流性暴雨强烈;井宇等^[3]对商洛一次局地暴雨诊断分析发现,强降水主要发生在对流云团强中心西北侧 TBB 梯度大值区;何可杰等^[4]对陕南一次突发性暴雨过程分析,指出最大降水出现在 β 中尺度对流系统的成熟期。在常规观测资料的基础上,利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐 6 h 再分析资料、FY-2E 卫星 TBB 资料和地面自动站降水量资料,对 2016 年 7 月 30—31 日发生在商洛的局地大暴雨天气进行分析,探讨暴雨产生原因及机理,为此类天气的预报积累经验。

1 降水概况

2016 年 7 月 30 日 20 时至 31 日 07 时,商洛市遭遇了一次强对流暴雨天气袭击,强降水中心主要出现在山阳和商南境内。全市有 48 个雨量监测点超过 50 mm,6 个超过 100 mm,山阳县西照川镇为 211.3 mm;强降水集中时段在 30 日 21 时至 31 日 03 时。据逐时自动雨量站观测数据显示,最大小时雨强 56 mm/h,出现在 31 日 02 时至 03 时。这次强降水突发性强且降水强度大,对人民生命财产和农业生产造成较大灾害。

2 环流背景分析

7 月 30 日 08 时 500 hPa 天气图上,欧亚中高纬度为“两槽一脊”型,巴尔喀什湖、东北地区分别为低槽区,贝加尔湖为一高压脊,大陆高压位于甘肃北部至内蒙西部,西太平洋副热带高压控制华北南部至华南地区。20 时副热带高压西伸北抬,与大陆高压合并加强,主体仍位于海上,在陕西形成“歪脖子脊”,商洛受其控制。700 hPa 上从云贵高原至陕西北部为一支 4~8 m/s 的西南风风速带,850 hPa 上安康至商洛为 2~4 m/s 的偏南风,中低层商洛地区上空无明显风场辐合。地面图上,商洛受地面暖低压控制。从环流背景分析来看,本次过程发生前,从低层到高层均没有有利于降水发生的环境条件。

3 大气稳定度分析

暴雨是各种尺度天气系统相互作用的产物。

是在高温、高湿、层结不稳定等有利环境条件下形成的^[5]。查看暴雨区及周边地区最高气温发现,7 月 22—30 日商洛及周边地区最高气温均在 30 °C 以上,温度露点差均在 1~5 °C,说明暴雨发生前暴雨区已经具备了有利于中尺度系统形成的高温高湿环境条件。分析与大暴雨区分别相距 212、168、180 km 的西安、安康、南阳 3 个探空站的资料(表 1)发现,强降水发生前,30 日 08 时西安、安康站不稳定能量达 900 J/kg,位于商洛东部的南阳站不稳定能量达 3 973.3 J/kg,表明商洛市东部比西部大气层结更加不稳定;西安站 K 指数为 29 °C,安康、南阳站 K 指数 ≥ 40 °C;西安站 SI 指数为 1.86 °C,安康站为 -2.42 °C,南阳站达 -6.93 °C。通过 K 指数、SI 指数分析可以发现,商洛西南部、东部更有利于强对流发生。

表 1 2016-07-30T08 探空站资料

探空站	K 指数/°C	SI 指数/°C	CAPE/(J/kg)
西安	29	1.86	967.2
安康	40	-2.42	911.3
南阳	41	-6.93	3 973.3

进一步分析三个探空站的风向变化,发现西安、安康整层风向随高度顺转,表现为暖平流特征;南阳站地面至 500 hPa 风向随高度顺转,500~400 hPa 风向随高度逆转,说明中低层存在暖平流,中高层存在冷平流。30 日 08 时商洛东部有冷空气入侵,冷空气在南下的过程中,触发不稳定能量释放,造成这次强降水,这也是强降水出现在商洛东南部的原因。说明此次过程中,在大气层结不稳定状态下,冷平流入侵方向对强降水落区有较好的指示意义。

4 物理量诊断分析

4.1 水汽条件

暴雨需要有源源不断的水汽输送并在降水区集中。分析暴雨区逐 6 h 水汽通量及其散度(图略)变化,可以看到此次强降水主要以 700 hPa 水汽输送为主,水汽源地一个来源于孟加拉湾,一个来源于东海,二者在陕西南部汇合,形成一条偏南

水汽通道。这条水汽通道在 30 日 (强降水过程中稳定维持。水汽通量散度场上, 30 日 20 时之前, 700 hPa 有弱水汽辐合; 31 日 02 时水汽辐合明显增强, 中心强度达 $-3 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 水汽辐合中心与强降水区正好吻合。

文献[6]中提到陕西突发性暴雨相对湿度有明显的递增。通过分析 2016 年 7 月 30—31 日商洛局地大暴雨, 发现相对湿度也有明显的递增现象。30 日 08 时 850 hPa 以下比湿为 $12 \sim 14 \text{ g}/\text{kg}$, 20 时开始比湿增大至 $14 \sim 16 \text{ g}/\text{kg}$; 相对湿度变化更为明显, 30 日 08—20 时 850 hPa 以下相对湿度小于 50%, 20 时之后低层相对湿度开始增加, 31 日 02 时整层相对湿度达 90% 以上, 接近饱和。

4.2 动力条件

沿 33.3°N 做垂直速度经向垂直剖面图。分析发现 30 日 08 时暴雨区处于副高外围, 700 hPa 以下有弱上升运动; 随着冷空气不断入侵, 抬升条件逐渐改善, 暴雨区上升运动增强; 31 日 02 时 (图 1) 地面至 200 hPa 形成一致的上升运动区, 最大上升速度 $> 1.5 \text{ Pa}/\text{s}$, 上升运动大值区位于 900 hPa 附近, 低层较强的上升运动有利于将中低

4.3 热力条件

假相当位温是表征大气湿特征的物理量, θ_{se} 高值区代表高温高湿区 (即高能区), 从 θ_{se} 垂直剖面图上可以分析对流不稳定能量的积聚和释放过程。7 月 30 日 20 时沿 110.4°E 经暴雨中心 θ_{se} 的纬向剖面图 (图 2a) 上, 33.2°N 近地面为高能暖中心, 中心强度达 99°C 以上, 高能舌向上伸至 650 hPa 附近。对流层中低层为 $\partial\theta_{se}/\partial p > 0$ 的对流不稳定层结, 600 ~ 400 hPa 为中性层结, 400 hPa 以上为对流稳定区。深厚的对流不稳定层结有利于对流天气的发生。

分析 850 hPa θ_{se} 变化情况可以看到, 30 日 20 时以前, 商洛地区 $\theta_{se} > 80^\circ\text{C}$, 说明暴雨发生前大气为高能高湿状态, 有不稳定能量积聚; 30 日 20 时 (图 2b), 东北冷涡南压, 有东北路冷空气扩散南下, 850 hPa θ_{se} 图上山西经河南西部到商洛出现低能区, 低能轴呈东北—西南向, 商洛东部低存在 $\theta_{se} < 74^\circ\text{C}$ 的低能中心。说明有东路冷空气入侵暴雨区, 触发不稳定能量释放, 与之相对应商洛出现短时强降水, 1 h 降雨量达 30 mm。

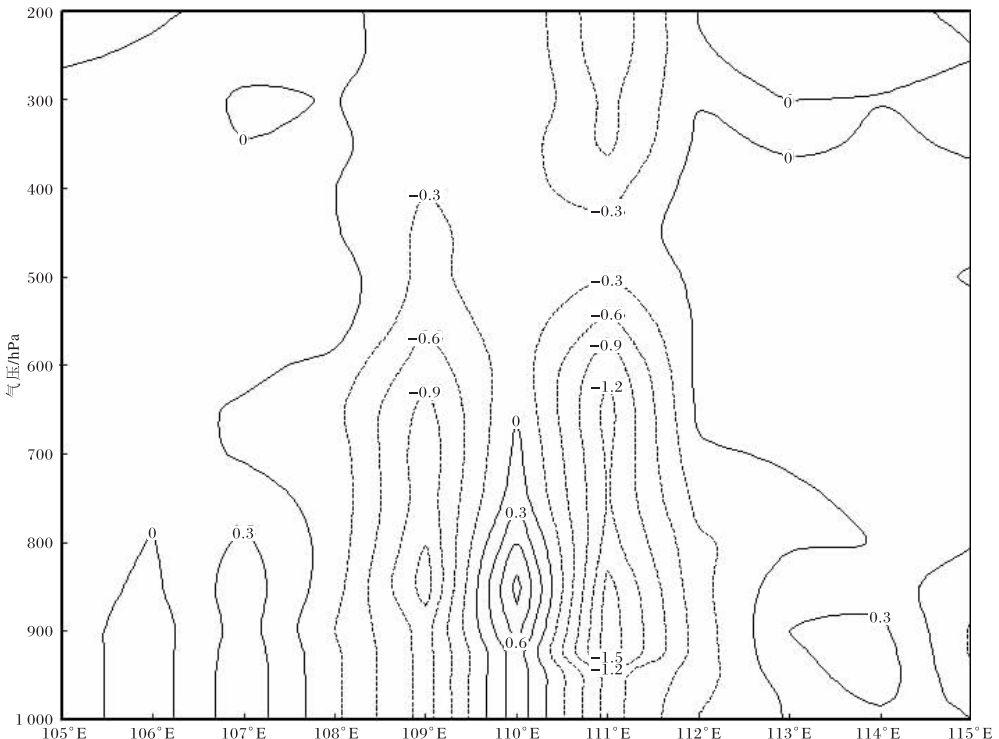


图 1 2016-07-31T02 沿 33.3°N 垂直速度 (单位为 Pa/s) 经向剖面

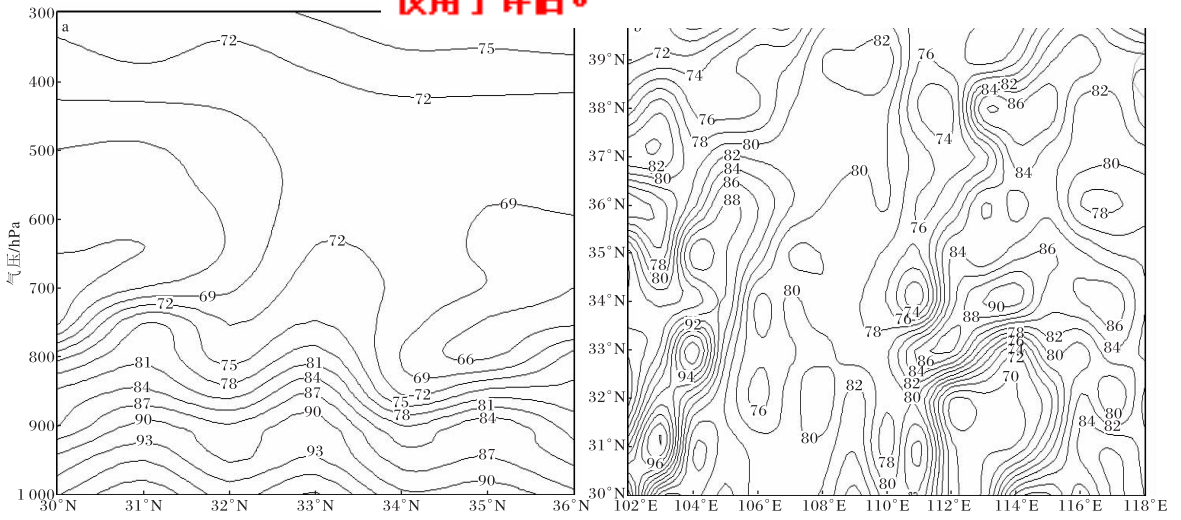


图2 2016-07-30T20 θ_{sc} (a 沿 110.4°E 经暴雨中心纬向剖面, b 850 hPa; 单位为 °C)

5 暴雨云团中尺度特征分析

常规观测资料和自动加密观测资料很难预报局地短时强对流性天气,但静止气象卫星携带各种气象遥感仪器,不仅能监测大尺度云系走势,而且能监测中小尺度对流云团变化的全过程。其精准的周期可将资料实时送回地面,对监视灾害天气、跟踪 MCS 更为有效^[7]。利用 FY-2E 逐时

TBB 资料,结合地面加密自动站资料,具体分析暴雨云团的中尺度特征。

图3显示,随着华北平原东路冷空气南下入侵,30日20时商洛东北部与渭南交界处有中心 $t_{BB} < -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的中- β 尺度对流云 A 生成;21时商洛南部有中- γ 尺度的对流云团 B、C 生成。22 时对流云团 A 和 B、C 迅速合并加强为云团 D,其中

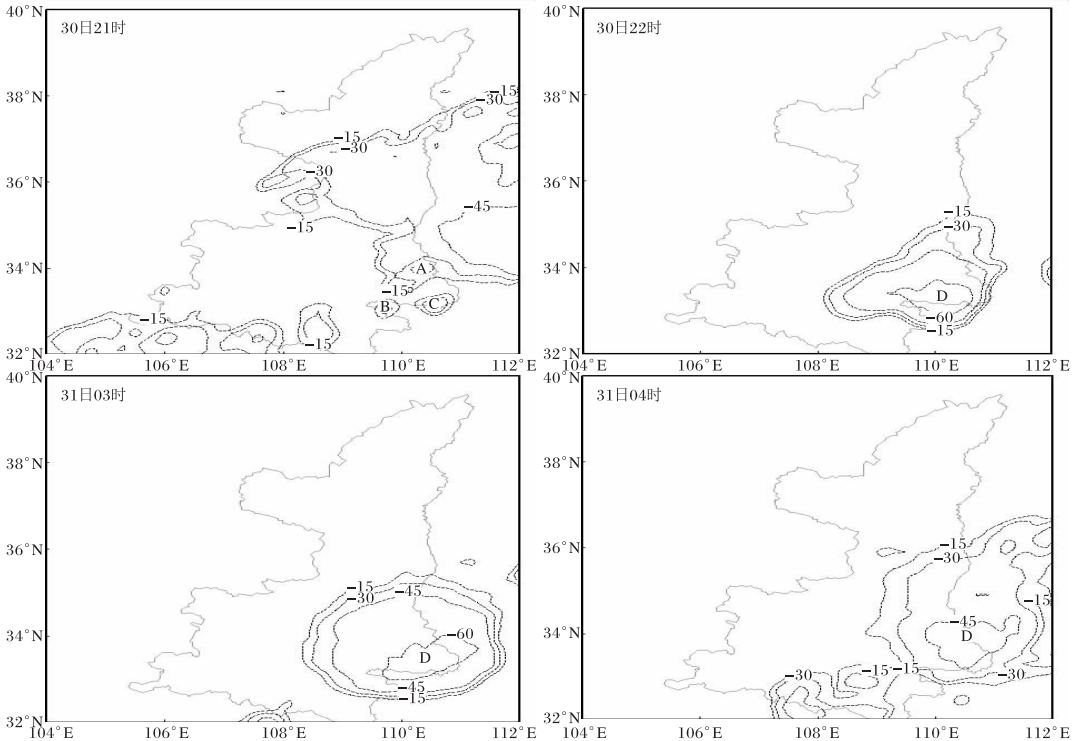


图3 2016-07-30T21—31T04FY-2E 卫星 TBB(单位为 °C)

心 $t_{BB} < -52\text{ }^{\circ}\text{C}$, 水平尺度达 10C 团合并后地面降水迅速发展, 商洛东部多个站点出现 40 mm/h 以上的强降水, 最大雨强达 56 mm/h 。23 时到 31 日 03 时, 云团 D 中心强度维持在一 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 水平尺度达 150 km 左右, 此时段是对流云团的成熟阶段。对应多个区域站连续 4 h 的雨强超过 30 mm/h 。04 时后, 云团 D 中心强度和范围不断减小, 边缘比较松散, TBB 梯度减小, 表明此云团对流性减弱, 地面降水也减弱。

进一步分析 TBB 与降水量的关系, 7 月 30 日 21 时西赵川镇 (图 4) 上空 TBB 为一 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 21 时后开始出现降水, 但雨量很小。22 时 TBB 突降到一 $42\text{ }^{\circ}\text{C}$, 表明对流加强, 21—22 时降雨量达到 20.2 mm 。30 日 23 时至 31 日 03 时 TBB 一直小于一 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 表明对流云团发展旺盛, 此时段内雨强均达 20 mm/h 以上。04 时随着对流云团减弱东移 TBB 升至一 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降水量也随之减小。对流云团最强盛阶段 (30 日 22 时—31 日 03 时) 6 h 降水量高达 218.4 mm 。由此可见, 降水出现后云顶亮温 TBB 逐渐降低, 当 TBB 突然下降时, 对流云团处于快速发展阶段, TBB 低值阶段和强降水出现时段基本吻合; TBB 开始升高时降水强度也相应减小。

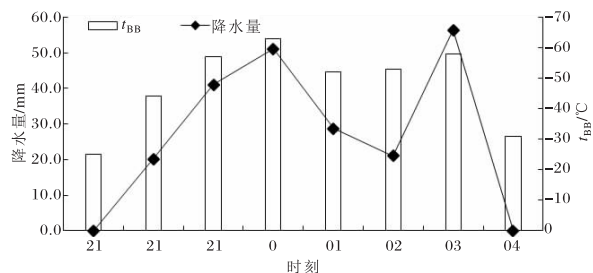


图 4 2016-07-30T21—31T04 西照川镇上空 TBB 与小时雨量变化

6 多普勒雷达产品特征分析

商洛新一代多普勒雷达对这次突发性局地大暴雨天气过程进行了连续追踪, 得到了完整的监测资料。从基本反射率演变情况看, 这次降水雷达回波为层状云和对流云叠加的混合性降水回波。受午后局地热力抬升影响, 16:00—19:56 不

路冷空气入侵, 21:34, 2.4° 仰角上基本反射率 (图 5a) 45 dBz 以上的强回波范围增大, 对流单体移动方向和回波带走向基本一致, 形成列车效应, 造成山阳与商南县交界处持续近 6 h 的强降水。

从基本速度演变情况看, 在回波发展初期, 速度图上存在零散的逆风区, 随着回波发展, 1.5° 仰角 (图 5b) 上 21:34 西照川镇附近有气旋性辐合, 6.0° 仰角 (图 5c) 上有反气旋性辐散。低层辐合高层辐散的配置有利于强对流云团的发展。31 日 00:56 在 1.5° 仰角 (图略) 上辐合区进一步扩大, 对应强降水范围扩大。04:06 在 1.5° 仰角 (图略) 上正速度区增大, 负速度区减小, 强降水区低层转为辐散, 降水范围和强度均下降。

垂直液态含水量 VIL 是多普勒天气雷达探测到水平面单位面积上垂直方向延伸至回波顶的空气柱内含有的液态水总量^[4]。对降水期间 VIL 统计分析, 发现大部分地区 VIL 为 $10\sim 30\text{ kg/m}^2$, 降水最强时段 VIL 达 60 kg/m^2 , 且最大值所在位置与地面强降水区、演变趋势基本相同^[8]。

7 结论

(1) 此次暴雨天气过程发生前, 中高层受高压脊控制, 暴雨区大气处于高温高湿状态, 有不稳定能量积聚。随着东路冷空气入侵, 不稳定能量释放, 强降水主要出现在东部。暴雨区周围上空冷暖平流分布, 对短期预报强降水落区有一定指示意义。

(2) 暴雨发生过程中相对湿度有明显的递增现象; 暴雨发生时垂直速度场也表现为整层上升运动。强降水出现在中尺度暴雨云团发展成熟阶段, TBB 低值阶段和强降水出现时段基本吻合, TBB 开始升高时降水强度也相应减弱。

(3) 此次过程的雷达回波为层状云和对流云叠加的混合性降水回波。回波移动方向和其走向一致, 形成列车效应, 是造成强降水的主要原因。基本速度图上, 在降水发展阶段出现低层气旋性辐合、高层反气旋性辐散的有利配置。垂直液态含水量最大值所在位置与地面强降水落区基本相同。

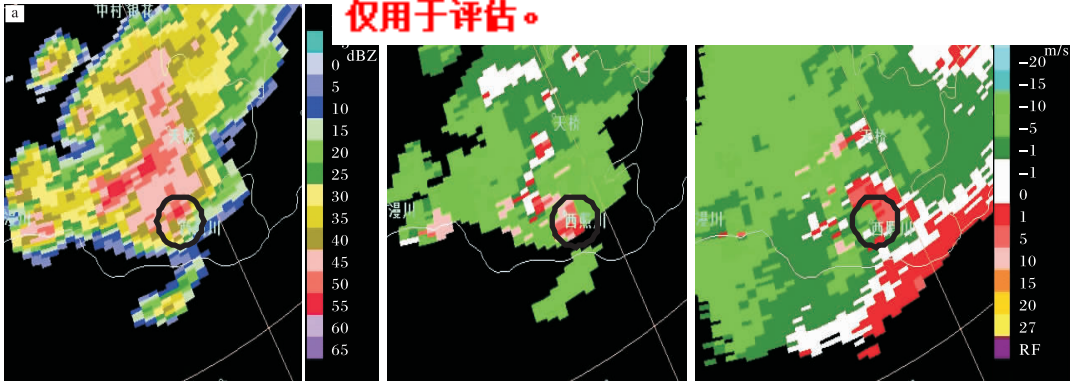


图5 2016-07-30T21:34 商洛多普勒雷达基本反射率(a 仰角为 2.4°, 圆圈表示西赵川镇)、基本速度(b 仰角为 1.5°, 圆圈表示气旋;c 仰角为 6.0°, 圆圈表示反气旋)

参考文献:

[1] 肖贻青,黄少妮,娄盼星,等. 副热带高压控制下一次区域性强对流暴雨成因分析[J]. 陕西气象,2018(5):6-12.

[2] 马晓华,马青,刘嘉慧敏,等. 冷锋影响下西安一次对流性暴雨研究[J]. 陕西气象,2018(1):1-5.

[3] 井宇,黄少妮,陈闯,等. 商洛一次局地暴雨诊断分析[J]. 陕西气象,2016(2):1-4.

[4] 何可杰,王显安,王从军,等. 陕南一次突发性暴雨过程分析[J]. 陕西气象,2008(1):26-29.

[5] 徐远波,尹恒,谭永秀,等. 副高边缘一次局地突发性

性大暴雨过程的中尺度分析[J]. 暴雨灾害,2009,28(1):58-63.

[6] 侯建忠,刘瑞芳,王文强,等. 青藏高原东北侧突发性暴雨特征综合分析[J]. 灾害学,2010,25(2):81-85.

[7] 张韧,洪梅,刘科峰. 基于静止气象卫星云图的灾害性天气识别[C]//中国灾害防御协会—风险分析专业委员会第一届年会论文集,2004:160-165.

[8] 纪晓玲,胡文东,刘庆军,等. 宁夏一次突发性暴雨中小尺度系统分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2007,28(1):32-36.

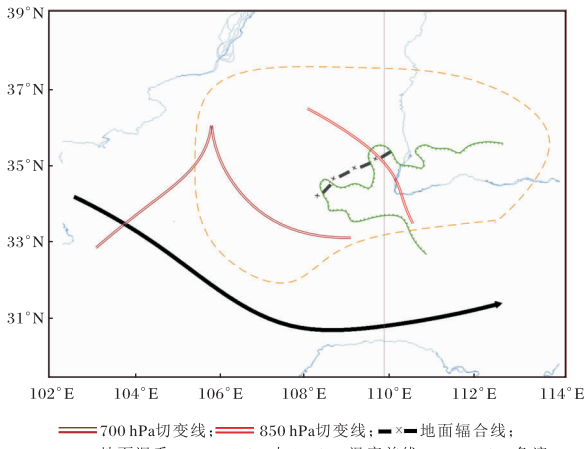


图1 2015-08-23T20 影响系统配置图(文见第2页3)

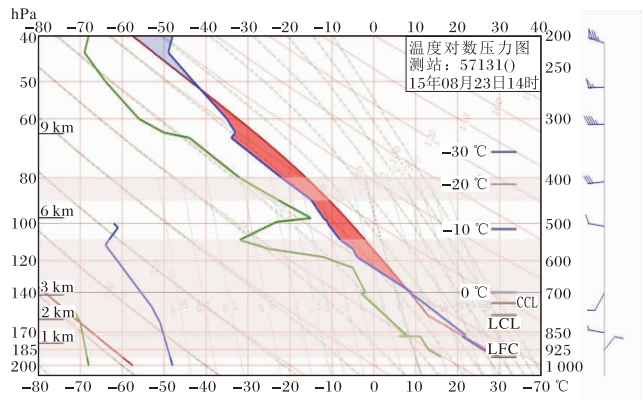


图2 2015-08-23T14 泾河 TlnP 图(文见第2页3)