

刘元珺,何豫秦,彭菊蓉,等. 一次西南涡引发 MCC 暴雨的中尺度分析[J]. 陕西气象,2017(1):5-9.

文章编号:1006-4354(2017)01-05-05

一次西南涡引发 MCC 暴雨的中尺度分析

刘元珺,何豫秦,彭菊蓉,张小峰,王云鹏

(汉中市气象局,陕西汉中 723000)

摘要:利用 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料、国家气象卫星中心云顶亮温和地面加密观测资料对 2013 年 7 月 21—22 日发生在陕南的暴雨天气过程进行中尺度诊断分析。结果表明:中尺度对流复合体(MesoConvectiveComplex,下简称 MCC)是此次暴雨的直接影响系统;500 hPa 停滞的低槽,配合对流层高层急流分支出口的强辐散及对流层低层西南低涡的动力抬升作用,形成有利于 MCC 生成、发展的大尺度环流背景;700 hPa 西南低空急流、850 hPa 气流的南支分量为 MCC 的生成、发展提供充足的水汽和能量;西南低涡的东北移动伴随有 MCC 云团的生消发展,MCC 的发展经历了生成、发展、成熟、消散四个阶段,陕南强降水位于云顶亮温等值线密集一侧;MCC 发生在高能、弱对流不稳定区;露点锋加强暴雨区的垂直上升运动,系统北部冷空气与南侧西南暖湿气流导致低层锋生,大气斜压性增大,并在陕南地区产生辐合上升,形成次级环流,又触发对流不稳定释放,相互之间有正反馈的作用。

关键词:MCC;暴雨;西南低涡;露点锋

中图分类号:P458.121

文献标识码:A

西南涡是暴雨产生的重要天气系统,汉中地区位于四川盆地东北部的秦岭山区,是西南涡的主要影响地区之一。西南涡主要生成于四川盆地东部,在东移或者东北移时会影响陕南地区。西南涡所影响区域极易产生历时短、强度大、突发性强的暴雨天气,秦岭山区地理地形条件独特,天气复杂,降水分布不均,强降水天气常常造成该地区山洪、泥石流等灾害,为农业生产、人民生命财产等造成较大损失。西南涡产生的暴雨往往伴随有中尺度对流复合体(mesoscale convective complex,简称 MCC)的发生、发展,对于西南涡和

MCC 产生暴雨的研究,我国气象工作者已经做了大量工作。侯建忠等^[1]研究了陕西 MCC 的特征,表明陕南出现的 MCC 约占全省总数的 80%,陕南的 MCC 在半夜发生、加强和成熟的占绝大多数,当 MCC 在陕南出现,对流层中低层、甘南—四川东部地区都有低涡或切变配合。马红等^[2]通过分析发生在滇东北和四川盆地南部的一次暴雨天气过程,认为 850 hPa 四川盆地南部西南涡引发的 MCC 是暴雨的直接影响系统,MCC 成熟阶段表现出中低层辐合和高层辐散的动力特征。井喜等^[3]对黄河中下游一次 MCC 和中- β 尺

收稿日期:2016-10-25

作者简介:刘元珺(1988—),女,陕西汉中,本科,助工,主要从事天气预报服务。

基金项目:中国气象局气象关键技术集成与应用重点项目(CMAGJ2015M59)

- [7] 郑健,关宁,杨成梅. 干旱区绿洲城市大气环境承载力分析及预测—以乌鲁木齐市为例[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2015,51(6):110-114.
- [8] 宋宇. 中国区域大气环境承载力 DEA 评价[J]. 河南农业大学学报,2011,45(5):600-604.

- [9] 范丽雅,余锡刚,金均. 浙江省大气环境承载力时空分布特征研究[J]. 环境污染与防治,2013,35(12):72-77.
- [10] 周辉,权文婷,赵青兰. 陕西省关中地区霾天气时空分布特征分析[J]. 陕西气象,2015(4):21-23.

度强对流云团相互作用暴雨过程进行分析,得出低空急流和边界层东北风是 MCC 生成和发展的触发机制之一。

对西南涡影响下引发 MCC 所形成的暴雨,往往预报难度大,中小尺度系统影响机理难以把握,本文利用常规观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、云顶亮温资料、地面加密观测资料对 2013 年 7 月 21—22 日发生在陕南的区域性暴雨过程进行分析,从大尺度环流背景、卫星云图、中尺度环境场诊断等方面入手,试图进一步了解西南涡背景下 MCC 发生、发展的环境条件和触发机制,为暴雨预报提供参考。

1 降水实况

2013 年 7 月 21 日 20 时—22 日 20 时,陕南出现区域性暴雨天气过程。暴雨主要位于汉中地区,其中 193 个乡镇站出现暴雨,26 站出现大暴雨。暴雨造成汉中市 5 个县 45 个镇受灾,受灾人口 10 245 人,农作物受灾面积 2 462.7 hm^2 ,镇村道路、电力设施造成不同程度的损失,因灾造成直接经济损失达 29 690 万元。

2 天气尺度环流形势演变

21 日 08 时 200 hPa 天气图(图略)上,南亚高压位于青藏高原上空,其东部脊线位于 30°N 附近,南亚高压北侧的西风急流轴位于 40°N 附近,陕南处于南亚高压西北侧和西风急流出口区右侧的强辐散区。20 时,南亚高压东部脊线迅速北抬至四川—陕西南部附近,MCC 生成区位于南亚高压东部脊线附近。

21 日 08 时 500 hPa 天气图(图略)上,贝加尔湖—巴尔喀什湖为一强大的切断低压,形成三个闭合低压中心,冷涡底部不断有冷空气南下,副热带高压呈东西带状分布,陕西处于副高外围西北侧,河套西部和高原上分别有短波槽存在。20 时,两支短波槽同位相叠加,在河套中部至川西形成低槽,陕西处于低槽前的偏南急流中。受西太平洋副热带高压东侧高压脊阻挡,低槽移动缓慢,22 日 08 时,低槽东移至陕西上空,槽前偏南急流加强,西安站出现 20 m/s 的西南风。暴雨过程中副热带高压稳定少动,移动缓慢的低槽为暴雨发生提供了稳定的环流背景,槽前的偏南急流为

MCC 的发生、发展提供大量的水汽和不稳定能量,槽前正涡度平流所造成的减压有利于低层低值系统的生成。

21 日 08 时 700 hPa 天气图(图略)上,四川盆地有一地形性低涡(下简称“西南低涡”)。20 时,位于四川盆地的西南低涡移至陕西西部,在关中—四川东部有一人字形切变,切变右侧四川东部—陕西南部有一支西南急流建立,风速为 12~14 m/s。22 日 08 时,西南低涡中心沿切变线向东北方向移动至关中地区,西安站的风速达 24 m/s,西南低空急流增强;低涡西北部的甘肃武都地区形成东北急流,崆峒站西北风达 18 m/s,表明西南低涡北侧冷平流加强。冷暖气流活动造成低涡环流加强,有利于 MCC 的发展。20 时,低涡切变线东移至淮河流域,偏南急流迅速东撤,降水减弱,MCC 也逐渐减弱。

地面天气图(图略)上,21—22 日陕西处于东高西低形势中,河套东部和黄河下游有一高压控制,甘肃—四川有一低压,华北地区有冷高压存在,冷高压底部在陕西南部形成回流形势,东路冷空气与西路冷空气在陕西相遇,将西南暖湿气流抬升,利于陕西大降水的产生。

3 MCC 的演变特征

按照 Maddox^[4]定义的 MCC 标准,满足 -32°C 以下云罩面积在 10 万 km^2 以上,且 -53°C 以下云罩面积在 5 万 km^2 以上、维持达 6 h 以上的暴雨云团为 MCC。云顶亮温能够有效地揭示、判别 MCC 发展、加强及成熟期的不同阶段,确定 MCC 的强降水时段和落区。下面利用 7 月 22 日 FY-2E 卫星云图的云顶亮温资料对 MCC 的演变特征进行分析。

(1) 生成和发展阶段

22 日 00 时(图 1),在四川南部有对流云团 A 生成,该云团云顶亮温小于 -32°C 和 -52°C 冷云面积分别为 $7.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $4.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,边界光滑,近似椭圆,在对流云团 A 前侧有清晰的点状对流单体,在其西北侧有较强的亮温梯度,造成四川省三台县 1 h 降雨量达 39.8 mm。02 时,对流云团 A 迅速向东北方向移动,与前侧点状对流单体合并, -52°C 冷云面积迅速增大。此时汉中

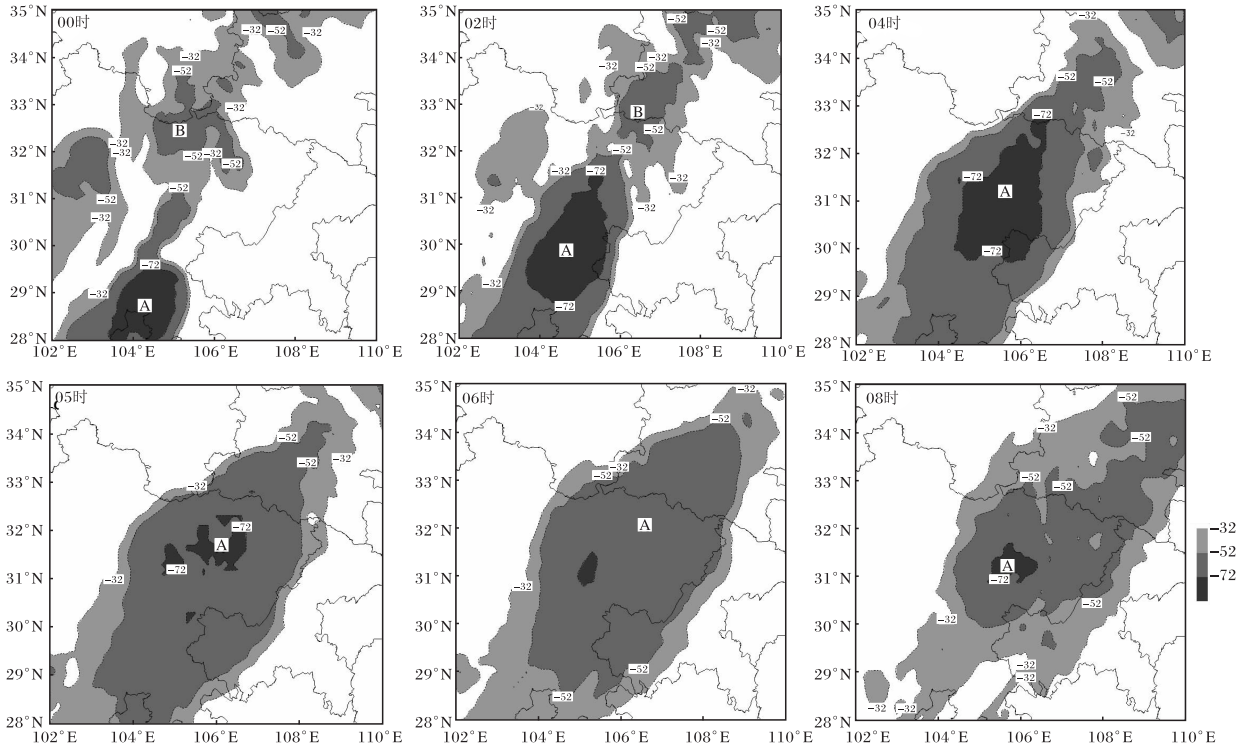


图1 2013-07-22 FY-2E的云顶亮温(单位为 $^{\circ}\text{C}$,阴影区云顶亮温 $\leq -32^{\circ}\text{C}$)

受对流云团 B 影响,西部出现强降水,略阳站 22 日 01—02 时 1h 降水量达 30.9 mm。

(2) 成熟阶段

22 日 04 时(图 1),云团 B 并入对流云团 A,并发展加强, -32°C 和 -52°C 冷云面积分别扩大为 $13.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $9 \times 10^4 \text{ km}^2$,云顶亮温最低达 -80°C ,边界为光滑的椭圆型,其长轴与短轴之比为 9:4,2 h 内 -32°C 冷云面积扩大了 2 倍,随着西北路冷空气的入侵,冷暖空气交汇,此时 MCC 云团西北侧云顶亮温等值线非常密集(即云顶亮温梯度大),而汉中位于云顶亮温等值线密集一侧, -52°C 冷云已扩展至汉中南部,此时陕西南部强降水对流特征明显,出现雷电、大风、短时暴雨,03—04 时,勉县 1 h 降水量为 23.5 mm。22 日 05—06 时, -32°C 和 -52°C 冷云面积再次增大为 $27.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $16.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,边界光滑,结构紧凑, -52°C 冷云面积继续向东扩大,已覆盖陕西南部,但最强冷云中心数值有所减小,表明 MCC 发展至鼎盛时期,此时陕西南部强降水区域也随 MCC 的东移而东移,其后部出现大面积层状云降水系统。08 时 MCC 继续向东移动,

-52°C 冷云面积有所减小,结构松散,边界不再有光滑特征。陕西境内降水强度减弱。

(3) 减弱阶段

22 日 09—12 时(图略),南下的冷空气破坏了 MCC 的热力不稳定结构。 -32°C 和 -52°C 冷云面积大幅减小,MCC 主体分裂为两个对流云团,一个向东移动,一个向南移动,不再满足 MCC 特征。陕西境内降水明显减弱。

从环流形势和卫星云图分析可以发现,造成陕西南部的暴雨为发展于四川盆地的 MCC 和陕南西部的对流云团合并加强所致,MCC 达到最强时,也是陕南西部强降水最大时刻,强降水位于云顶亮温等值线非常密集一侧,从西北路径入侵的弱冷空气与暖湿气流在 MCC 云团西侧边缘交汇,强盛的西南急流和弱冷空气的入侵,有利于 MCC 加强和发展,并导致在陕南西部产生短时强降水、雷暴、大风等强对流天气。随着冷空气大面积南下,MCC 迅速减弱,强降水趋于减弱,这一特征对准确预报、监测和预警该类致灾性暴雨落区、时段是非常有效的。侯建忠等^[1]在分析陕南地区 MCC 特征时表明,当冷空气从西北路侵入而发展

的 MCC,降水具有强对流特征,多有雷雨相伴,短时雨强明显偏大。通过对本次过程卫星云图分析也验证了这一结论。

4 MCC 发生、发展的能量场特征

过暴雨中心点 33°N 、 107°E 做 θ_{se} 垂直剖面,可以看出,能量场空间剖面表现为陕西暴雨发生时典型的高能管状结构^[5]。21 日 20 时(图 2a), 36°N 附近从地面到 500 hPa 都有随高空向冷区倾斜的 θ_{se} 密集区,高空锋区明显, 36°N 以南 θ_{se} 线

相对稀疏。22 日 02 时(图 2b),700 hPa 以下 θ_{se} 约为 $75\sim 90^{\circ}\text{C}$,表明低层处于高温高湿区域。 33°N 附近(暴雨区) $(\partial\theta_{se}/\partial p) > 0$ 且 $\theta_{se(700-850)}$ 约为 2°C ,表明暴雨发生前低层有弱对流不稳定,这与 MCC 对流云团发生、发展所需要的不稳定条件相一致。22 日 08 时(图 2c), θ_{se} 锋区明显南压,垂直方向等温线更加密集,表明对流稳定度减小,导致垂直上升运动加强,满足了 MCC 维持和发展需要的高能高湿需求。

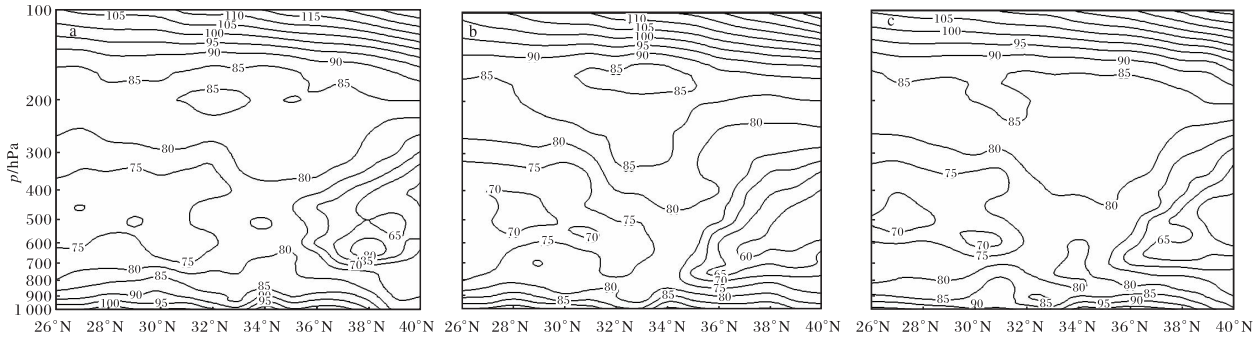


图 2 2013 年 7 月沿 107°E 假相当位温 θ_{se} 剖面图(单位为 $^{\circ}\text{C}$)

(a 21 日 20 时; b 22 日 02 时; c 22 日 08 时)

5 MCC 发生、发展的中尺度环境条件

5.1 高低空急流的耦合

7 月 21 日 08 时 700 hPa 天气图(图略)上,云南—陕西南部有一支西南风的大风速带,平均风速为 $8\sim 10\text{ m/s}$ 。20 时,西南风加强,形成西南急流,汉中站风速由 08 时的 8 m/s 增大到 14 m/s ,MCC 生成于 700 hPa 低空西南急流左侧,此时地面上有弱冷锋位于宝鸡—陇南一线,随着冷空气的侵入,22 日 08 时 700 hPa 西南急流南移到四川东部—重庆一线,汉中、西安站分别出现 18 m/s 、 20 m/s 的西南风,MCC 伴随西南急流的加强而迅速加强。在 850 hPa 天气图(图略)上,四川东部—陕西南部也有 $8\sim 10\text{ m/s}$ 的偏东气流,MCC 生成于偏东急流北侧偏南风最大值前端的强暖平流区中,并伴随着西南急流的加强而迅速加强。200 hPa 天气图(图略)上,陕西处于南亚高压西北侧高空西风急流出口区的右侧的强辐散区,高低空急流的耦合作用为中尺度系统的发生、发展提供了强烈的动力条件。

5.2 干线特征

干线,是水平方向上的湿度不连续线。为比湿(或露点)水平梯度强烈的狭窄带,主要表现在地面或 850 hPa 层上。干线是触发中尺度对流系统发生发展的重要系统之一^[6]。从 21 日 20 时 850 hPa 风场与露点叠加图(图 3a)可以看出,甘肃南部有弱低压环流生成。关中以南部分地方露点温度大于 18°C ,有湿舌(露点大值区)生成。同时,有东西两条干线存在,一条在宁夏—甘肃南部,一条在山西和河南交界处。22 日 02 时,这种干、湿分布没有明显变化,但是东部的干线略有西移,且强度增加(露点梯度增加)。22 日 08 时(图 3b),气旋性环流演变成一完整的中尺度低涡,此时降水进入最强时段,并东移至关中地区,西南急流和偏东风急流同时加强,最大风速均达 18 m/s ,东风急流携带干空气嵌入到湿区,形成干舌,与湿舌交汇强烈,大气不稳定得到加强。22 日 14 时后,北部干舌进一步南压东扩,干冷空气势力加强,中尺度低涡向东移动,且低涡右侧南风势力减弱,风速辐散,低涡环流减弱(图略)。

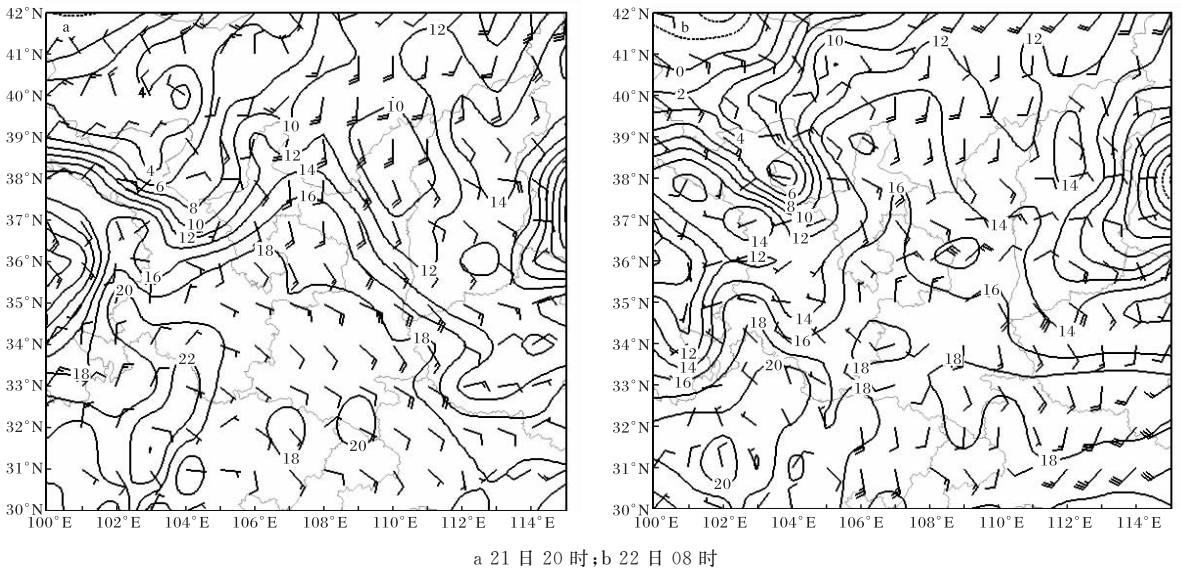


图3 2013-07-21—22 850 hPa 露点温度(单位为 $^{\circ}\text{C}$)与风场叠加图

此次强降水过程从发生前至结束后,位于850 hPa 的两条干线移动缓慢,其北侧的干冷空气与南侧上升的暖湿空气形成次级环流,有利于上升运动的发展和维持,次级环流北侧冷平流加强,使南侧暖湿空气强迫抬升,从而对次级环流有正反馈的作用,加强暴雨区的上升运动。

6 结论

(1)700 hPa 四川盆地西南涡是 MCC 云团产生暴雨的主要诱发因素,西南低涡的东北移动伴随有 MCC 云团的生消发展。500 hPa 停滞低槽、高低空急流是此次造成暴雨的重要影响系统,高空西风急流出口区的右侧和西南急流左侧的强辐散以及西南低涡为暴雨区提供动力辐合条件,西南急流为暴雨区输送水汽和能量。

(2)MCC 的发展经历了生成、发展、成熟、消散四个阶段。从西北路径入侵的弱冷空气与暖湿气流在 MCC 云团西侧边缘交绥,强盛的西南急流和弱冷空气的入侵,有利于 MCC 加强和发展,强降水位于云顶亮温等值线密集一侧。

(3)深厚的暖平流表明 MCC 需要高能高湿的能量,为其发生发展提供了持续不断的水汽和热量输送;暴雨发生前低层有弱对流不稳定,这与 MCC 对流云团发生发展所需要的不稳定条件相一致。

(4)露点锋加强了垂直上升运动。北部冷空气与南侧西南暖湿气流导致低层露点锋的锋生,在露点锋区附近形成假相当位温锋面,导致大气斜压性增大,并作为抬升条件,触发对流不稳定能量释放;干冷空气在锋面后部向南向下侵入产生辐合上升,形成锋面次级环流,加强了垂直上升运动,相互之间有正反馈的作用。

参考文献:

- [1] 侯建忠,陈小婷,乔剑,等. 陕西 MCC 特征分析及预报与减灾对策研究[J]. 灾害学,2016,31(1):128-134
- [2] 马红,郑翔飏,胡勇,等. 一次西南涡引发 MCC 暴雨的卫星云图和多普勒雷达特征分析[J]. 大气科学学报,2010,33(6):688-696.
- [3] 井喜,贺文彬,毕旭,等. 远距离台风影响陕北突发性暴雨成因分析[J]. 应用气象学报,2005,16(5):656-662.
- [4] Maddox R A. Mesoscale convective complexes[J]. BullAme Meteor Soc,1980,61:1374-1387.
- [5] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007:117.
- [6] 吴翠红,王晓玲. 湖北省中尺度暴雨诊断分析研究[M]. 北京:气象出版社,2013:12.