

刘嘉慧敏,马晓华,黄少妮,等. 陕西中南部初夏和盛夏暴雨过程对比分析[J]. 陕西气象,2019(1):1-11.

文章编号:1006-4354(2019)01-0001-11

陕西中南部初夏和盛夏暴雨过程对比分析

刘嘉慧敏,马晓华,黄少妮,肖贻青,戴昌明

(陕西省气象台,西安 710014)

摘要:利用常规观测资料、FY-2E 卫星红外云顶亮温(TBB)以及欧洲中心再分析资料,对比分析陕西中南部 2013 年 5 月 25—26 日初夏暴雨过程(“0525”过程)和 2011 年 8 月 3—4 日盛夏暴雨过程(“0804”过程)的成因差异。结果表明:这两次过程都受低槽影响并配合低涡东移;但“0804”过程是一次中尺度对流降水造成的暴雨过程,中低层西风带系统明显偏强,“0525”过程是与西南涡发展有关的一次区域性暴雨过程。在“0804”过程中我国东南沿海有台风生成发展,阻挡了西风带环流系统的移动,稳定维持有利的降水形势。两次过程低层都伴有西南急流的稳定维持,但“0804”过程急流强度更强,维持时间更久。两次暴雨过程除了来自孟加拉湾的水汽之外,“0804”过程还存在一条来自南海的水汽通道,水汽条件更好。盛夏暴雨呈现出明显的高温高湿特点,具有明显的位势不稳定。两次暴雨过程中都伴随高空干冷空气侵入过程,“0804”过程干侵入更强。从云团演变来看两次过程都出现了大范围的斜压叶状云系,而“0525”过程云系结构松散,发展不够深厚。“0804”过程云系密实,TBB 中心最低达 $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$,云体发展非常深厚,激发的中 α 尺度对流云团是造成“0804”过程强降水的直接原因。尽管“0525”过程能量条件较“0804”过程差,但仍需关注中纬度系统(低槽、西南涡等)的快速发展和稳定维持,还需关注高空冷空气的干侵入作用。这对低层系统加深发展起到增幅作用,有利于降水加强。这也是初夏暴雨的预报着眼点。

关键词:初夏暴雨;盛夏暴雨;环流形势;物理量;红外云顶亮温

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

近年来,众多学者就暴雨中尺度系统发生、发展动力学问题进行了广泛的研究和探索,取得了重要进展^[1-2]。在大尺度方面,尤其在形成暴雨的大尺度条件和背景研究方面取得了新的结果,从海温、海冰影响和高低纬大气环流的相互作用方面研究了西北太平洋副热带高压(以下简称“西太副高”)的活动异常以及引发长江流域暴雨的条件^[3]。但就目前的研究来看,多从单一个例角度出发进行诊断分析,对于暴雨的归类及其季节的演变研究较少。强度大、突发性强的暴雨多发生于盛夏主汛期,但初夏各地气温普遍升至 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,尤其在 5 月底 6 月初,晴热少雨,阵性天气多发,而在此期间西太副高主体还未登上大陆,初夏暴雨虽发生频率

较低,却常常会引发严重洪涝灾害^[4-9],因而准确预报初夏暴雨,对做好“三夏”气象服务意义重大。目前已有气象工作者对初夏暴雨进行了研究,结果表明低空急流的建立、加强及地面辐合线加强锋生是初夏暖区暴雨的预报着眼点^[10]。对于西南地区突发性初夏暴雨而言,广义湿位涡正异常区对降水分布有一定指示意义^[11]。而就现有研究可见,其多基于南方初夏暴雨而得,针对北方初夏区域性暴雨的分析相对较少。

青藏高原东部是我国暴雨多发地区之一,暴雨具有历史短、强度大、局地性强等特点^[12],特别是在陕西省关中和陕南地区,由于其独特的地形地貌,常常会造成严重的次生灾害。气象工作者

收稿日期:2018-01-02

作者简介:刘嘉慧敏(1989—),女,汉族,陕西宝鸡人,硕士,助工,主要从事短期天气预报研究。

基金项目:陕西省气象局重点青年科研基金项目(2017Y-1)

对陕西盛夏暴雨做了大量研究,胡淑兰等^[13]认为在有利的大尺度环流背景下, β 中尺度系统是强降水形成的直接影响系统。特别是在中高层冷槽和低层暖脊、湿舌上下相互叠置时,极有利于对流不稳定的建立和发展^[14]。同时,陕西虽地处内陆,但受台风远距离影响的作用显著,西太副高和台风外围持续强劲的东风低空急流是触发暴雨的重要影响系统,为暴雨区输送了源源不断的水汽和不稳定能量^[15-16]。此外对于突发性暴雨而言,地面能量场存在的 α 中尺度 Ω 系统发生发展,以及高能轴的位置都有一定的指示作用^[17]。而对于陕西初夏暴雨,近年来预报员从不同角度对其进行分析研究。但由于其发生时正处于季节环流转换期,暴雨发生发展过程中大气环流形势和物理量信号不及盛夏暴雨明显,预报上有一定难度;因此有必要将其与盛夏暴雨进行对比分析,揭示二者的成因差异,寻找异同,总结预报着眼点,以此提高预报准确性。

利用常规观测资料、 $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ 的欧洲中心再分析日资料、卫星 TBB 资料对陕西中南部 2011 年 8 月 3—4 日盛夏暴雨过程(简称“0804”过程)和 2013 年 5 月 24—25 日初夏暴雨过程(简称“0525”过程)进行对比分析,比较二者的环流演变差异,分析总结陕西初夏暴雨的预报着眼点,以期预报预警提供参考。

1 过程概况

2011 年 8 月 3—4 日(图 1a),陕西中南部地区出现了区域性暴雨过程。降水从 3 日午后开始,8 月 4 日傍晚减弱,强降水主要集中在 3 日夜间至 4 日早上。此次过程陕西共出现 18 县(区)站暴雨,其中 1 站出现大暴雨,即镇巴县 152 mm。强降水中心主要在汉中和安康地区。从暴雨中心镇巴的降水逐时演变可见(图 2),此次过程呈“单峰”型,降水持续时间较长,小时雨强从 4 日凌晨开始逐渐加强,直至 10 时达到最大,随后开始减弱。此次暴雨过程持续时间长,从而引发陕南汉中、安康市区多处积水,造成了巨大的经济损失。2013 年 5 月 25—26 日(图 1b),陕西关中南部、陕南中东部出现了区域性暴雨过程。此次过程虽然发生在初夏,但陕西共有 28 个县(区)站出现暴雨,其中 2 站大暴雨,最大为武功 123.9 mm。该过程主要发生在 25 日午后至 26 日凌晨,从暴雨中心降水逐小时演变分析可见(图 2),此次过程有两个强降水阶段,呈明显“双峰型”。第一阶段从 25 日 08 时开始加强直至午后 14 时达到最大,此后开始减弱;而在第二阶段从 25 日 18 时又开始降水加强,直至 25 日 22 时达到最大,之后减弱,强降水结束。该初夏暴雨相较历史同期而言实属罕见,过程累积雨量较大,突发性强,范围广。但总的来讲,盛夏暴雨的强度大于初夏暴雨。

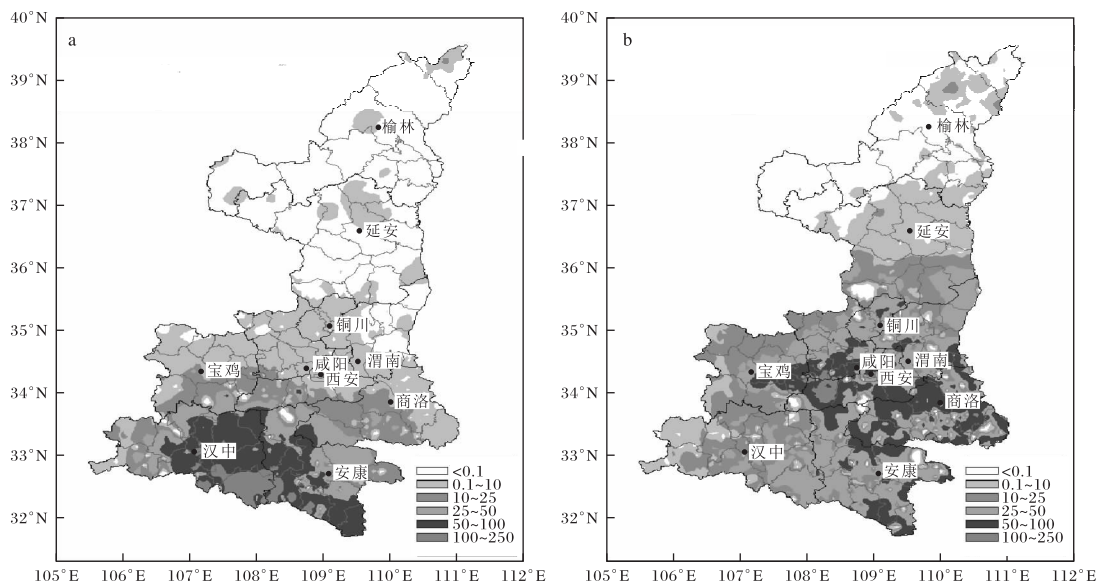


图 1 2011-08-03T20—04T20(a)和 2013-05-25T08—26T08(b)陕西降水量分布(单位为 mm)

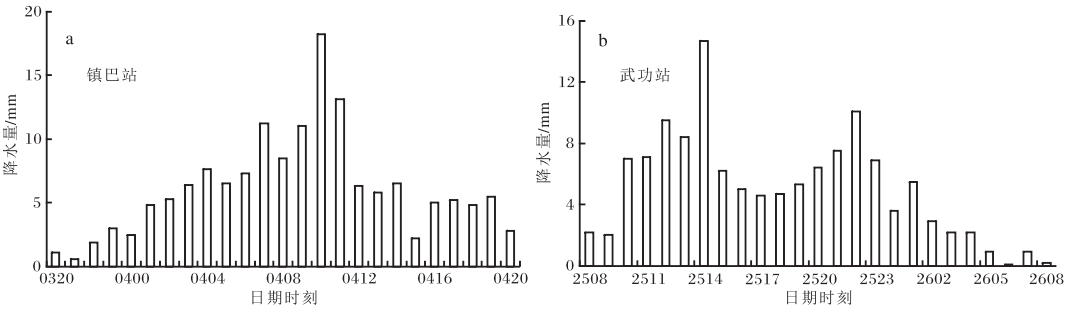


图 2 2011-08-03—04(a)和 2013-05-25—26(b)陕西中南部暴雨过程暴雨中心站降水逐时演变

2 环流背景

2013 年 5 月 24 日 20 时(图略),200 hPa 上急流位置偏北偏西,河套地区上空受大范围偏西气流控制,风速由北向南减弱,西安上空风速为 38 m/s;500 hPa 上高原东部多短波槽活动,陕西中南部受槽前西南气流影响;700 hPa 上陕北东部、关中西部至陕南西部一线存在一条东北—西南走向切变线,关中、陕南受切变东侧 4~8 m/s 的偏南气流控制。25 日 08 时,200 hPa 上急流明显东进南压,河套地区上空受大范围西南气流控制,风速显著加强。陕西中南部风速经向梯度加

大,恰好处于上空急流轴入口区的右侧强辐散场中,且急流有一定分叉或分支出现。这与井喜分析的中国 MCC 时空特征与天气学特征分析^[18]有一定相似,有助于上升运动的加强(图 3a)。500 hPa 上高原东部短波槽东移加深发展,在陇东地区形成中心强度为 577 dagpm 的低涡并配合南支槽东移。陕西中南部受槽前较明显西南气流影响,且槽中有明显冷平流,大气斜压性加强,未来槽加深发展,即槽前正相对涡度平流也会进一步加大,有利于加强低层系统的发生发展(图 3b)。700 hPa 上在四川盆地低层有西南低涡生

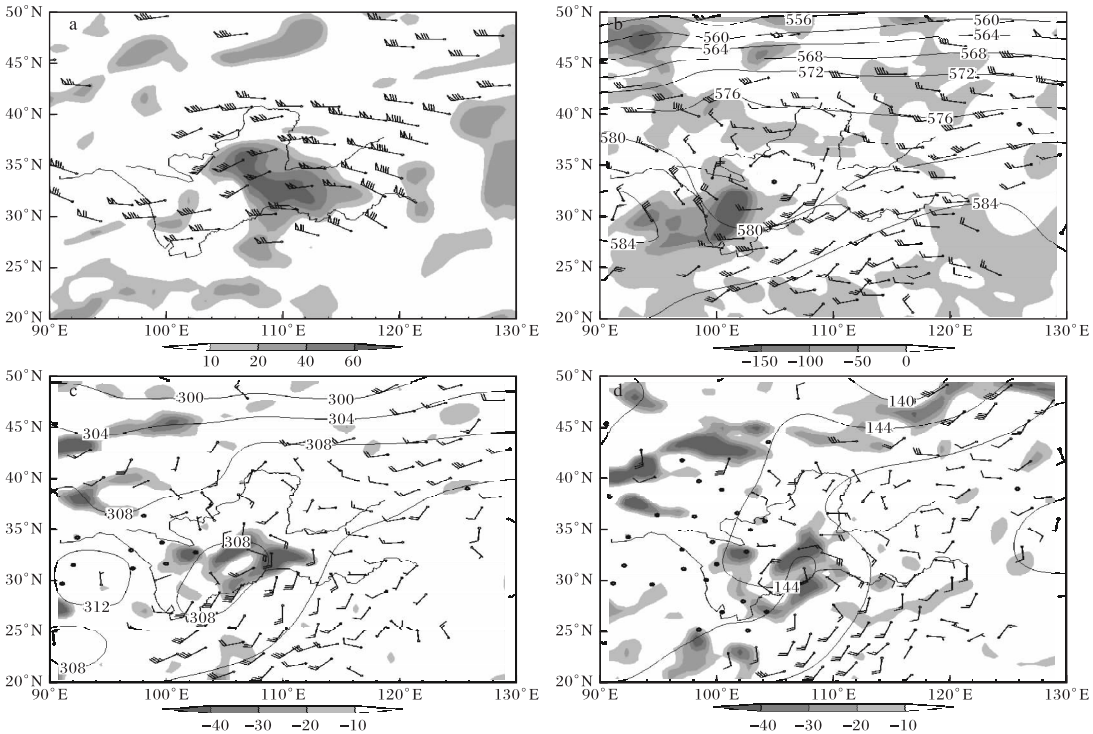


图 3 2013-05-25T08 200 hPa 风场及散度场(阴影)(a);500 hPa 风场、位势高度场及温度平流(阴影)(b);700 hPa(c)、850 hPa(d)风场、位势高度场及散度场(阴影)(风速单位为 m/s;位势高度单位为 dagpm;散度单位为 s^{-1} ;温度平流单位为 $^{\circ}C/s$)

成,并配合切变线东移北上影响陕西中部。切变东侧关中、陕南中东部的东南风加强,达到 $8\sim 10\text{ m/s}$ 。随着低涡的加深发展,其东部的西南气流也进一步加大,形成西南急流;急流最大风速可达 18 m/s ,将低纬度海洋上的水汽、能量和动量源源不断地输向暴雨区。同时受低涡影响,关中南、陕南上空呈显著辐合区,表明暴雨区上空有强上升运动(图3c)。850 hPa上,低涡稳定维持,暴雨区位于低涡北部的强辐合区中(图3d)。至此西风槽所携带的冷空气与低层西南暖湿气流在陕西中南部上空交汇,引发此次暴雨和大暴雨过程。此次过程是一次典型的西南涡北上造成的暴雨过程。虽然西太副高远离陕西,但有明显的低值系统,并配合低层低涡的东移北上。另外高层辐散抽吸和低层辐合作用恰好叠加于陕西中南部之上,这种高低层耦合形势有利于区域性暴雨的发生发展。

2011年8月3日20时(图略),200 hPa上急流偏北且强度较弱,陕西上空受大范围高空西北

气流控制。500 hPa上高原东侧为宽广的低槽,甘肃与青海交界处受中心强度为579 dagpm的低涡控制,之后低涡东移北上影响陕西。700 hPa上在暴雨发生前陕南西南部已形成西南急流,为此次盛夏暴雨前期提供了非常有利的动力和热力条件。另外,在陕北南部、关中西部至陕南西部存在一条南北向切变线。4日08时,200 hPa上急流南压但强度没有明显加强。值得注意的是此时南亚高压已位于高原上,而陕西中南部恰好处于其脊线东北侧的辐散区中。以往研究表明我国中东部的降水与南亚高压脊线的位置有关,特别是强降水一般总会产生在南亚高压脊线的东北侧^[19]。由图4a可见,陕西大部上空存在辐散风场,陕南上空强度最大,通过高层辐散抽吸作用使得上升运动得以加强;同时位于500 hPa的低涡伴随低槽显著东移至关中、陕南西部,其上空风速亦随之明显加强(图4b)。700 hPa上(图4c)南北切变东移,切变两侧的风速显著增大,西侧有明显的冷空气扩散南下,加大了大气位势不稳定。同

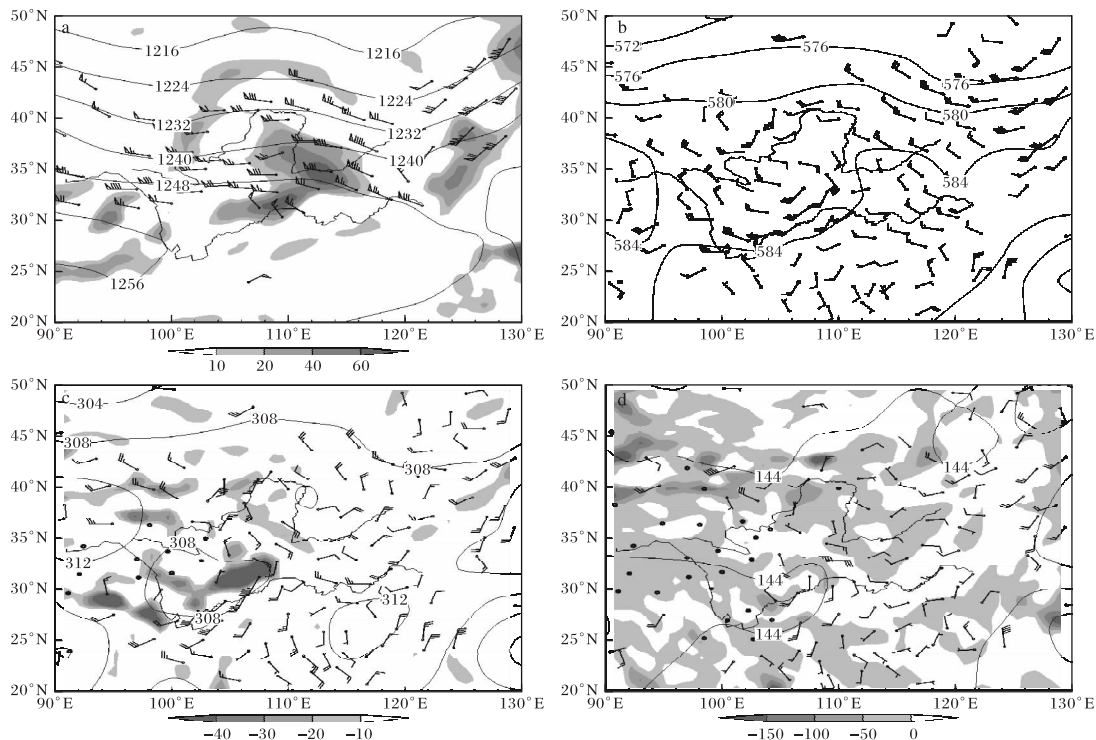


图4 2011-08-04T08 200 hPa 风场及散度场(阴影)(a);500 hPa 风场及位势高度场(b);
700 hPa 风场及散度场(阴影)(c);850 hPa 风场、位势高度场和温度平流(阴影)(d)
(风速单位为 m/s ;位势高度单位为 dagpm ;散度单位为 s^{-1} ;温度平流单位为 $^{\circ}\text{C/s}$)

时,西南低涡东侧急流增强,急流轴中心风速增至 20 m/s,急流左前方的辐合风场也随之加强,为暴雨的发生发展提供了强有利的动力和热力条件。850 hPa上陕南西南侧低值系统明显发展,陕南南部偏东风加大,达到 16 m/s。对应偏东气流,陕南上空存在冷平流,可在低层形成冷垫,为暖湿气流的爬坡抬升起着重要作用(图 4d)。至此冷暖空气在陕南上空交汇,配合较好的水汽条件,引发了暴雨天气。

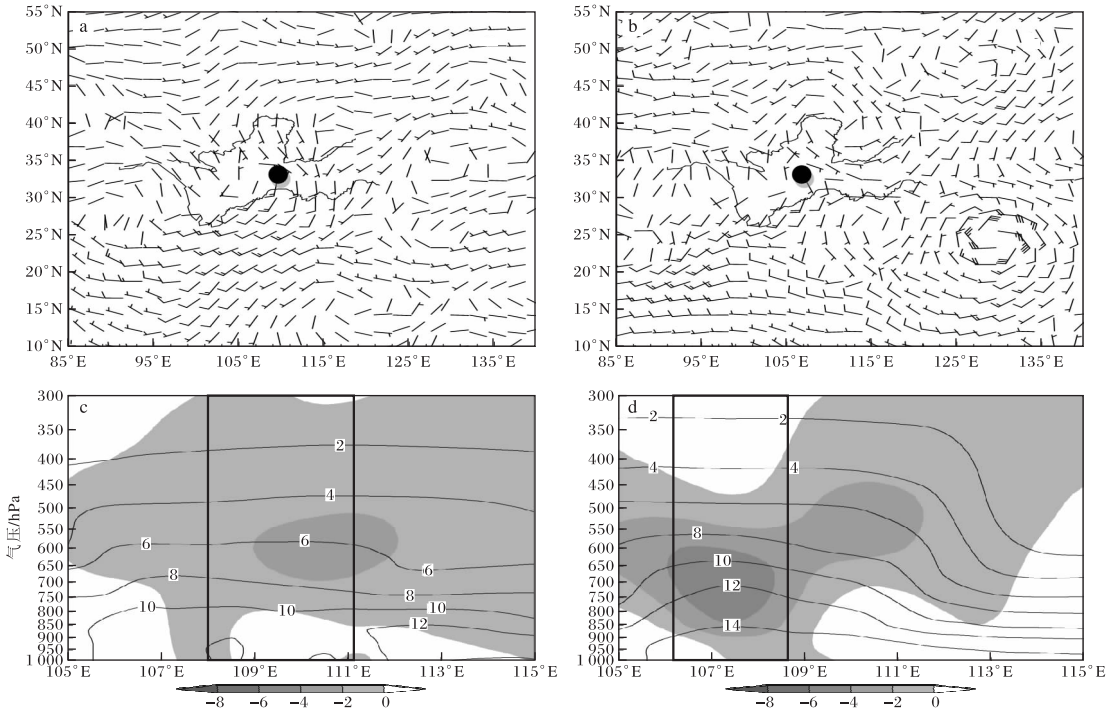
综上对比分析可见,“0525”过程是在天气尺度低空急流背景下,与西南涡发展有关的一次区域性暴雨过程,而“0804”过程则是 700 hPa 西南低涡东侧切变线附近的一次中尺度对流降水造成的暴雨。二者发生时的环流系统也呈现出明显差异,具体表现为:(1)“0804”过程的中低层西风带系统较强。在暴雨发生前,低层西南急流就已形成并于后期强度增大。暴雨发生时 700 hPa 上经向切变强度突然加大,两侧风速梯度强于“0525”过程,切变西侧不断有小股冷空气补充南下,有利于加强大气位势不稳定。另外“0525”过程低层低

涡移速较“0804”过程快,不利于降水的长时间积累。(2)在“0804”过程中我国东南沿海有台风生成发展,海上台风的西行北上会阻挡西风带环流系统的移动,进一步稳定维持了有利的降水形势。(3)“0804”过程中南亚高压已位于高原上,暴雨发生时,其明显东进,且强度大,暴雨区恰好处于南亚高压脊线东北侧的强辐散区中。而“0525”过程中,南亚高压还未上高原,对暴雨区的动力抬升贡献不大;但高空急流的强度要明显大于前者,对该过程的影响更为显著。

3 物理量分析

3.1 水汽条件

由于初夏与盛夏季节热带、副热带环流系统差异很大,当有暴雨发生时,水汽的来源和强度演变必然不同。由于水汽主要集中在低层,在 700 hPa水汽通量分布场上可见,两次暴雨发生时,都有来自孟加拉湾的水汽越过云贵高原,伴随低空西南急流源源不断地向关中、陕南输送,并在其上空形成辐合(图 5),而“0525”过程的水汽输



黑色圆点是水汽通量辐合中心;黑色方框为暴雨区

图 5 700 hPa 水汽通量场和过暴雨中心的水汽通量散度及比湿的纬向剖面分布(a、c 为 2013-05-25-T14; b、d 为 2011-08-04T08;等值线为 850 hPa 比湿,单位为 g/kg;矢量为水汽通量,单位为 g/(cm·hPa·s);阴影区为水汽通量散度场,单位为 10⁻⁷g/(cm²·hPa·s))

送辐合区较“0804”过程偏北偏东。此外,“0804”过程还存在一条来自南海的水汽通道。结合整层水汽通量散度和比湿的纬向剖面图可见,“0804”过程发生时比湿显然比“0525”过程大,暴雨中心比湿最大超过 14 g/kg , 并向上伸展形成一条湿舌;水汽通量散度随高度增加,在 700 hPa 达到最大,中心值超过 $-8\times 10^{-7}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,明显大于“0525”过程暴雨中心水汽通量散度。通过上述分析,“0804”过程强于“0525”过程的重要原因是水汽条件好。两次暴雨过程的水汽主要都来自于 700 hPa 以下,“0804”过程水汽来源于孟加拉湾和南海两条通道,加之台风的阻挡对低层暖湿气流的维持起到了关键作用,因此两次过程在累积雨量上出现显著差异。

3.2 动力条件

由图 6a 可以看到,“0525”过程暴雨中心整层垂直上升运动在 25 日凌晨突然增大,其中心最大速度达 -0.8 Pa/s ,位于 400 hPa 附近。14 时之后随着低层低涡的快速东移, 500 hPa 以下垂直速度迅速减弱至 -0.2 Pa/s ,暴雨中心的雨强也随之减小;而中高层上升运动仍维持至 20 时,表明中高层系统的动力抬升作用较低层更强。结合

相对涡度的时间剖面来看,在整个降水过程时间段内,暴雨中心整层为一致的正涡度区,涡度中心值约为 $14\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 左右;垂直分布梯度较小,表明涡度的垂直变化对此次暴雨的上升运动贡献不大。相较“0525”过程,“0804”过程暴雨中心的最大垂直速度则明显偏强。在 3 日 20 时之后,高层垂直速度先增大,之后随着低层上升运动突然加强,暴雨中心镇巴观音站 4 日 05 时小时雨强达到 21.2 mm 。此后整层垂直运动持续加强,4 日 14 时整层垂直速度达到最大,中心值为 -2.4 Pa/s ,位于 600 hPa 附近。之后高层垂直上升运动开始减弱,但中低层上升运动依然维持,直至 4 日 23 时整层垂直运动转为下沉后,降水趋于结束。结合相对涡度的垂直变化来看,“0804”过程中相对涡度的垂直变化远大于前者,并且随着相对涡度随高度变化的加强,垂直上升运动也在加强,二者成同位相变化。4 日 14 时左右在 700 hPa 上相对涡度中心值达到最大,约为 $20\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 以上,表明涡度的垂直变化对此次暴雨的上升运动贡献较前者大。另外低层低值系统的稳定维持也是造成盛夏暴雨强度大的重要原因之一。

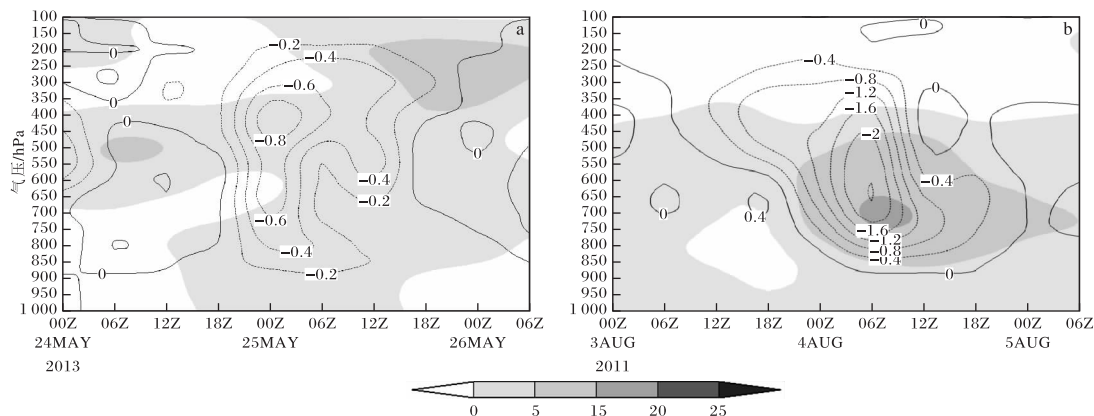


图 6 暴雨中心的垂直速度(等值线;单位为 Pa/s)和相对涡度(阴影区;单位为 10^{-5} s^{-1})的时间-垂直剖面(a“0525”过程;b“0804”过程)

3.3 热力条件

3.3.1 不稳定条件 “0525”过程开始时, 850 hPa 上陕西位温由北向南递增,并未出现明显的 Ω 型次天气尺度系统,呈近中性或位势稳定层结。08 时(图 7a)随着西北部干冷空气的南下,陕

西中南部位温有所下降,与 500 hPa 位温之差仍为正值,约为 $0\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 7c)。而到了 25 日 20 时(图略),陕西全省 850 hPa 位温整体增大,并且在陕西上空出现了较为明显的 Ω 型次天气尺度系统。高能舌呈南北走向,但关中、陕南上空并没有

形成较为明显的负值区,表明大气仍呈中性或位势稳定层结。另外,在暴雨刚开始时,西安 08 时探空图上显示湿层非常深厚,低层有明显的暖平流,但是对流有效位能(CAPE)几乎为 0 J/kg(图略)。可见,初夏暴雨“0525”过程大气位势不稳定不明显。而在“0804”过程发生时,在850 hPa位温分布图上,重庆至关中出现了明显的 Ω 型次天气尺度系统(图 7b)。高能舌呈东北—西南走向,与 500 hPa 的位温差显示陕南大部地区呈明显的负

值区(图 7d),表明大气为不稳定层结。之后随着暴雨强度的减弱,陕南地区也转为正值区。在 3 日 20 时汉中探空图上可以看到暴雨发生前,汉中站 CAPE 达 346.4 J/kg,K 指数达到 32(图略),表明暴雨发生前大气不稳定条件较好。两次过程比较可见,“0804”过程陕西中南部 850 hPa 位温较“0525”过程位温偏大 4~6 $^{\circ}\text{C}$,与 500 hPa 的位温差偏低 5 $^{\circ}\text{C}$ 左右,表明高温高湿和明显的位势不稳定可能是前者雨强较大的原因之一。

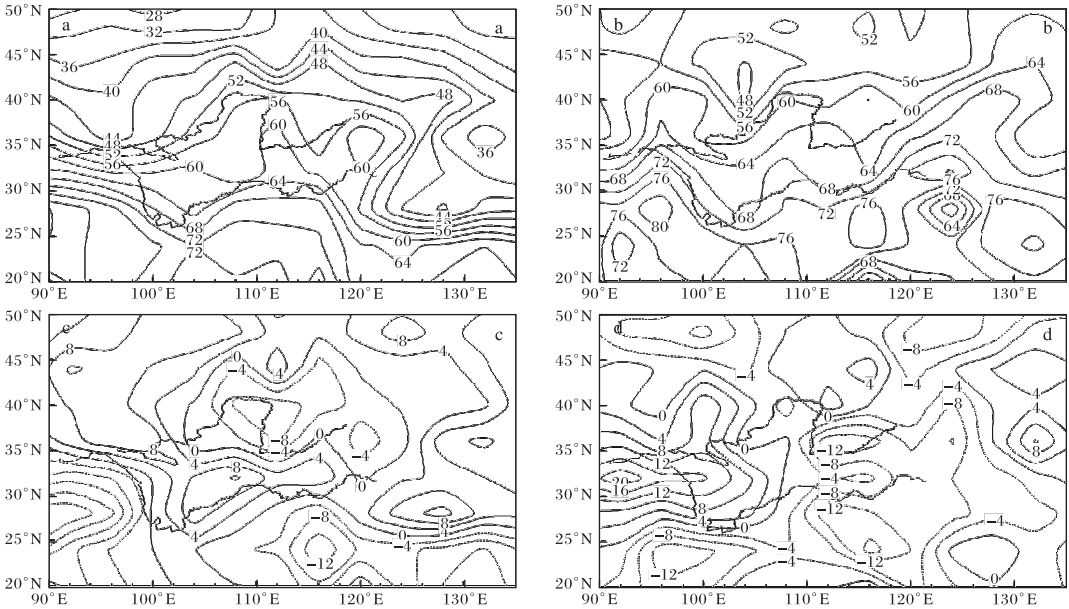


图 7 2013-05-25T08(a)和 2011-08-04T08(b)850 hPa 位温及其与 500 hPa 位温之差
(c 5 月 25 日 08 时;d 8 月 3 日 20 时)(单位为 $^{\circ}\text{C}$)

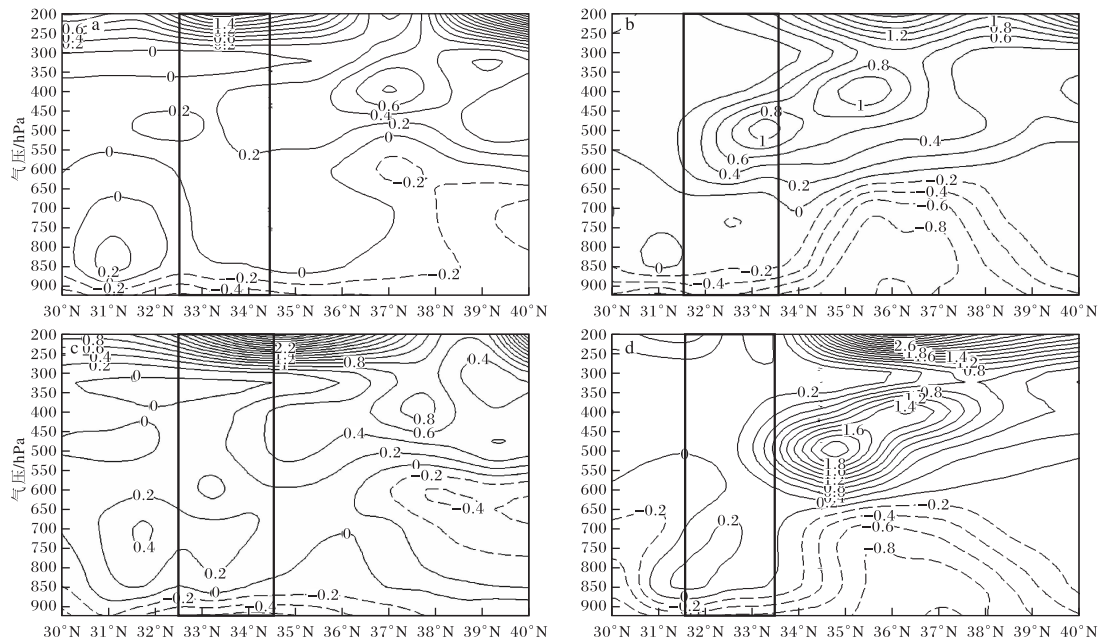
3.3.2 湿位涡演变特征 吴国雄等^[20]指出在绝热无摩擦的饱和湿空气中湿位涡具有守恒的特性。另外,当高层高值位涡向下伸展时,其分裂的高值扰动可促使中低层气旋涡度发展,有利于强降水产生。湿位涡由正压项和斜压项组成,其大小主要由正压项决定。正压项为小正值或负值时,一般和对流稳定度低或不稳定的暖湿空气相关,反之,正压项越高,一般和对流稳定的冷空气相关。暴雨往往发生在湿位涡密集带的负值区和“高正低负”配置型的冷暖交汇区。

从暴雨中心的湿位涡正压项 MPV1 的纬向垂直分布可见(图 8),“0525”过程开始,低层的不稳定层相当浅薄,在高层 300 hPa 以上 MPV1 均为正值,对应平流层干冷空气,中心达 1.6 PVU

(1 PVU= $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K}/(\text{s} \cdot \text{kg})$)。强降水发生时,可以看到暴雨区上空 300 hPa 以上 MPV1 突然增大,出现明显的等值线密集区,且高纬度对流层顶的高位涡空气不断分裂弱的正位涡向南下滑至暴雨区上空,存在干侵入过程。而“0804”过程开始时,低层的不稳定层较前者深厚,并可明显看到在 500 hPa 上出现了 1.0 PVU 的正位涡中心,上下层位涡的正负差约 1.6 PVU,明显高于“0525”过程。同时,在暴雨区北部对流层高层 300 hPa 以上高位涡中心值达 1.8 PVU,其中心呈漏斗状向暴雨区上空斜伸至 600 hPa,并在 500 hPa 附近形成一高位涡中心,约为 1.0 PVU,即冷空气干入侵强度大。到了强降水阶段时,冷空气干入侵过程进一步加强。暴雨区北部对流层

高位涡区强度显著加大,等值线密集,中心值达 2.8 PVU,其底部分裂的高值位涡扰动显著加强。500 hPa 附近高位涡强度增至 2.0 PVU,而在其南侧分离出的小值正位涡舌下滑至 850 hPa。暴雨区对流不稳定高度降低,不稳定能量彻底释放。

由倾斜位涡发展理论知,当具有高湿位涡的冷空气沿等熵面下滑时,将要经过稳定性逐渐减弱的环境大气,使得其绝对涡度增大,此时垂直涡度将显著增长,导致上升运动加强和水汽的向上输送,有利于降水加强^[21]。



黑色方框为暴雨区

图 8 过暴雨中心的湿位涡正压项 MPV1 的经向-垂直剖面图(a、c 分别为 2013 年 5 月 25 日 08 时、14 时;b、d 分别为 2011 年 8 月 4 日 02 时、08 时;单位为 PVU)

比较可见,两次暴雨过程中高层位涡强度和正负位涡垂直差异都出现不同程度增大,存在位涡异常,且在过程开始前 2~3 h 都伴随高空冷空气干侵入过程,同时低层位涡增大,但“0804”过程要明显强于“0525”过程。此外发现,“0525”过程暴雨区上空 300 hPa 以上正位涡的增幅强于“0804”过程;但由于高层分裂的正位涡扰动强度较弱,中低层正负位涡中心差值较后者小,因而不利于降水强度的增大。

4 中尺度对流系统发生发展

从 FY-2E 气象卫星红外云顶亮温 TBB 演变可以看出,“0525”初夏暴雨过程和“0804”盛夏暴雨过程主要是由自西向东和自南向北激发并传播的多个中尺度对流云团发生发展直接影响造成。

“0525”过程强降水从 25 日早上开始,在 25 日凌晨受高原槽前西南暖湿气流和低涡东移影

响,从陇南到四川北部有盾状云系东移发展,而在安康南侧西南暖湿气流中有中 β 尺度对流云团迅速发展,其中心 $t_{BB} < -40^{\circ}\text{C}$ 。随着系统东移,其后部又有中尺度对流云团发生发展,并向北移入安康,正是该对流云团的发展造成 04 时安康旬阳张坪站小时雨强达 50.7 mm。25 日 08 时(图 9),云系主体已移入关中、陕南,其上空 $t_{BB} < -40^{\circ}\text{C}$,陕南大部 $t_{BB} < -50^{\circ}\text{C}$ 。此时降水主要集中在商洛和安康,自动站小时雨强最大为商洛的山阳达 19.9 mm。10 时,槽前盾状云系与安康南部的中尺度对流云团合并并向东移动,强降水仍集中在商洛和安康。12 时,云系主体有所北抬,关中空 $t_{BB} < -50^{\circ}\text{C}$,中心 $t_{BB} < -55^{\circ}\text{C}$,云系北边界趋于光滑、北凸,与高空急流南界走向一致。此时关中开始进入强降水时段,西安户县朱雀森林公园站小时雨强突然增加,达 11.9 mm。

随后,关中、陕南境内大范围云团向东北移动。14时,云团主体已至关中北部、陕南东部,此时强降水达到最大。由于云团东移速度较慢,商洛山阳地区的强降水仍维持;但在云团的尾部不断有新生的对流单体合并发展移入关中中东部,从而使关中地区降水在这一阶段迅速加强,其中有3站自动站小时雨强大于10 mm,最大为咸阳的武功站达14.7 mm。之后云团继续向东北方向移动,16时主体已基本移出陕西,第一降水阶段告一段落。17时在安康南部又有新的中 β 尺度对流团迅速生成,并快速北移至西安南部,其中心 $t_{BB}<$

$-50\text{ }^{\circ}\text{C}$,从而使西安临潼自动站16时小时雨强瞬间增大至19.0 mm。此后该对流云团继续向东北方向移动;但在其后部不断有新生对流单体生成并快速发展,不断地向关中地区移动,从而使关中地区的强降水维持,西安临潼站18时的小时雨强仍为19.0 mm。之后新生的对流单体快速不断地移入关中地区,使得关中强降水的范围加大,强度激增。20时,西安地区有3站自动站小时雨强超过10 mm,达到强降水第二阶段峰值。之后,对流云团向北快速移动,在26日凌晨已基本移出陕西,此次强降水过程基本结束。

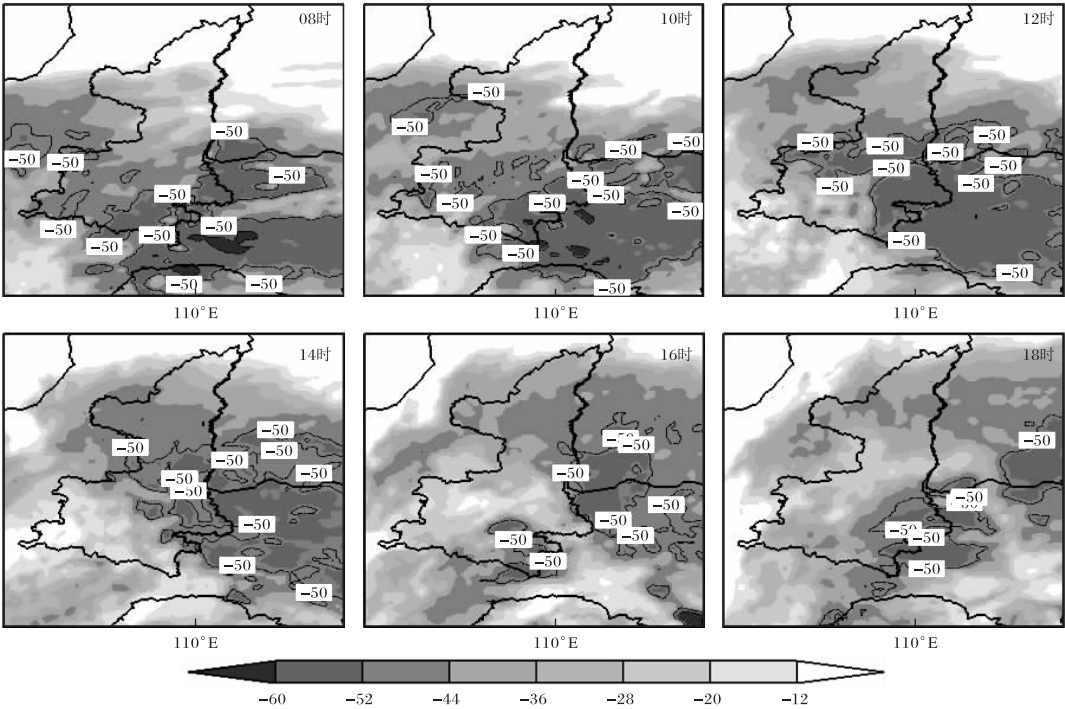


图9 2013-05-25 各时刻 TBB 分布(单位为 $^{\circ}\text{C}$)

“0804”过程,强降水从3日夜里开始(图10),受西南暖湿气流影响,22时在四川北部至陕南有带状云系发展,其中有多多个中 γ 尺度对流单体生成。由于对流单体迅速发展,北上进入汉中,造成4日凌晨汉中镇巴巴山站小时雨强超过10 mm。01—04时,随着带状云系的东移,其尾部不断有对流单体生成并快速移入汉中、安康,造成其境内强降水稳定维持。05时,在四川东北部又有中 γ 尺度对流单体生成,之后其面积迅速扩大并向北扩展,强度明显加强。到了06时已形成几何中心近似圆形的中 β 尺度

对流云团,其中心 $t_{BB}<-55\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时汉中镇巴观音站小时雨强达21.2 mm。随后该对流云团继续迅速发展,面积急剧北扩,并与其前部对流云团合并形成中 α 尺度对流云团。08时随着低层西南急流进一步加强,该云团中心 $t_{BB}<-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (如图10),汉中南郑法镇站小时雨强达23.6 mm。之后该对流云团缓慢东移,其中心强度并未减弱,10时降水强度最大,汉中镇巴自动站小时雨强已达18.2 mm。12时,对流云团主体已基本移出陕南,汉中强降水阶段也告一段落。14时,虽然原中 α 尺度对流云团已移出陕

南,但在其后部又有新生的对流云团,其中心 $t_{BB} < -60^{\circ}\text{C}$,汉中的强降水又开始加强。由于云团面积小,移动快,汉中地区的自动站雨强只是

略有加强。20 时后,陕南测站小时雨强迅速减小到 10 mm 以下,对流云团移出陕西,强降水基本结束。

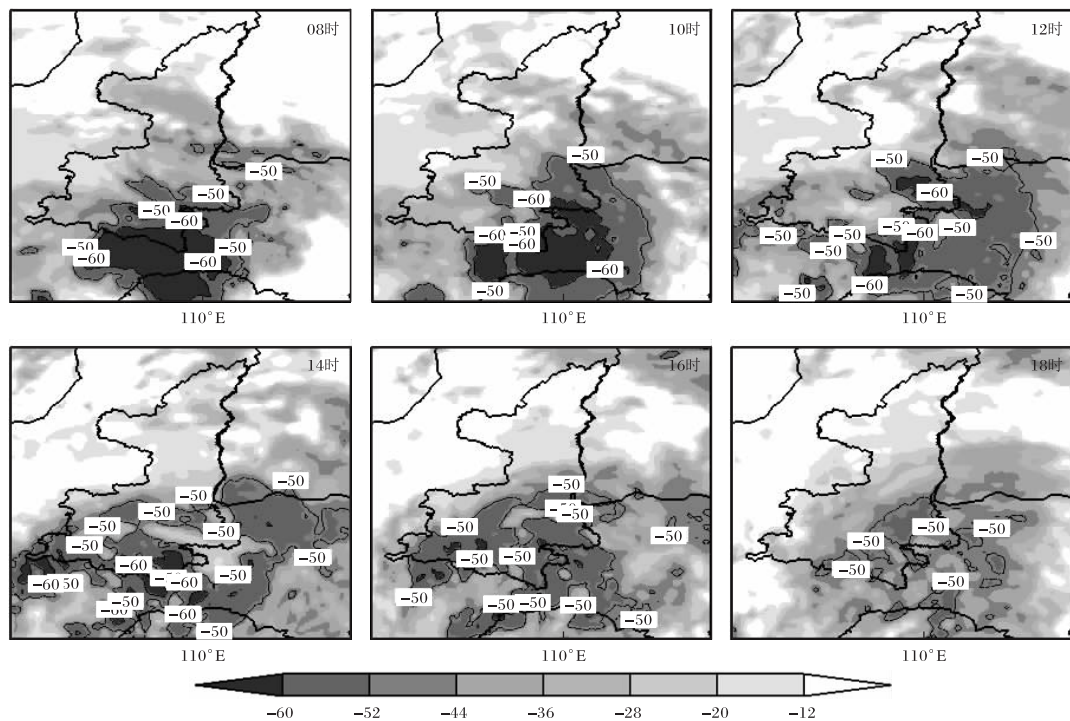


图 10 2011-08-04 各时刻 TBB 分布(单位为 $^{\circ}\text{C}$)

综上分析,两次强降水过程中陕西中南部都出现了大范围团状云系,北边界光滑、北凸。但对比可见,“0525”过程云系结构较为松散,位置偏北偏东,北部盾状云系位于陕北南部,TBB 中心最低达 -55°C 。中尺度对流云团产生于西南涡西南东侧的暖湿气流中,云团尺度大,由于能量较弱,云团中心强度较弱。相较“0804”过程,云团发展得不够深厚,对应该强降水的两个阶段,云团移速也是较前者偏快。而“0804”过程,4 日凌晨随着多个对流单体的生成北上,陕南强降水开始。之后在陕南西南部了形成几何中心近似圆形的中 α 尺度对流云团,这正是造成此次陕南强降水的直接原因。随着云团冷中心 $t_{BB} < -60^{\circ}\text{C}$ 东移,汉中强降水进入间歇。14 时,在中 α 尺度对流云团后部又有新生对流单体形成北上,汉中再次产生强降水,但雨强不大。该过程中尺度对流云团产生于低涡东侧切变线附近,配合有中尺度急流,云系结构很密实且位置偏南,TBB 中心最低达 -65°C ,云体发展非常旺盛,这也是“0804”过程

雨强大于前者的原因之一。两次强降水过程中,暴雨均出现于 TBB 中心低值区或者边缘梯度大值区。

5 结论

(1) 两次暴雨过程在 500 hPa 上都受低槽影响并配合低层低涡东移影响。“0804”过程是 700 hPa 西南低涡东侧切变线附近的一次中尺度对流降水造成的暴雨过程,我国东南沿海有台风生成发展,中低层西风带系统明显偏强,低层西南急流强度比“0525”过程的大,维持时间长;“0525”过程是与西南涡发展有关的一次区域性暴雨过程。由于西南涡的快速发展与稳定维持仍造成大范围暴雨天气。南亚高压的东进西退对盛夏暴雨也有很好的指示意义。

(2) 暴雨发生时,两次过程在低层都有来自孟加拉湾的水汽向关中、陕南输送,但“0804”过程还存在一条来自南海的水汽通道,使得其比湿远大于“0525”过程,水汽条件显著偏强。在能量方面,暴雨刚开始时,“0525”过程能量条件非常弱,大气

主要呈中性或位势稳定层结;而“0804”过程能量明显偏强,大气呈位势不稳定层结。

(3)两次过程发生时高空都存在冷空气干侵入过程。高湿位涡的冷空气沿等熵面下滑经过稳定性逐渐减弱的环境大气,使其绝对涡度增大,此时垂直涡度将显著增长,导致上升运动加强和水汽的向上输送,有利于降水加强。因此高层湿位涡侵入下伸暴雨区,对暴雨起到增幅的作用,这也是“0525”过程西南涡快速发展的原因之一。

(4)两次过程都出现了大范围的斜压叶状云系。“0525”过程云系结构较松散,云体中间嵌入了多个中尺度对流云团,发展不够深厚。“0804”过程云系密实,云体发展非常深厚,激发的中 α 尺度对流云团是造成“0804”过程强降水的直接原因。

(5)相较盛夏暴雨,初夏暴雨发生时的环流系统正处于季节转换期,系统强度、不稳定能量偏弱,但之所以能造成大范围的暴雨天气,主要是因为中纬度系统(低槽、西南涡等)的快速发展和稳定维持,此外还需关注高空冷空气的干侵入作用。

参考文献:

- [1] 侯建忠,井宇,陈小婷,等. 2016年商洛“7·30”局地突发性大暴雨综合分析及预报着眼点探讨[J]. 陕西气象,2017(5):1-5.
- [2] 李明,高维英,王兴慧. 西北涡和登陆台风共同影响的一次暴雨过程分析[J]. 陕西气象,2016(5):1-6.
- [3] 矫梅燕,毕宝贵,鲍媛媛,等. 2003年7月3-4日淮河流域大暴雨结构和维持机制分析[J]. 大气科学,2006,30(3):475-490.
- [4] 毕宝贵,刘月魏,李泽椿. 2002年6月8-9日陕南大暴雨系统的中尺度分析[J]. 大气科学,2004,28(5):747-760.
- [5] 肖湘卉,武麦凤,王旭仙,等. 关中初夏一次连阴雨过程的天气学特征分析[J]. 陕西气象,2008(6):16-18.
- [6] 乔林,陈涛,路秀娟. 黔西南一次中尺度暴雨的数值模拟诊断研究[J]. 大气科学,2009,33(3):537-550.
- [7] 李明,张涛,魏杰平. 2008年初夏孝感一次大暴雨天气过程的分析与诊断[J]. 暴雨灾害,2009,28(1):51-57.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 周明飞,杜小玲,熊伟. 贵州初夏两次暖区暴雨的对比分析[J]. 气象,2014,40(2):186-195.
- [11] 梁红丽,许美玲,吕爱民,等. 孟加拉湾风暴引发云南初夏强降水初探[J]. 高原气象,2014,33(5):1240-1250.
- [12] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [13] 胡淑兰,李社宏,武麦凤,等. 陕西中北部一次大暴雨天气过程分析[J]. 干旱区研究,2009,2(2):287-293.
- [14] 许新田,刘瑞芳,郭大梅,等. 陕西一次持续性强对流天气过程的成因分析[J]. 气象,2012,34(9):40-46.
- [15] 侯建忠,张弘,李明娟,等. 台风活动对陕西重大洪灾事件影响的综合分析[J]. 气象,2010,36(9):94-99.
- [16] 顾清源,肖递祥,黄楚惠,等. 低空急流在副高西北侧连续性暴雨中的触发作用[J]. 气象,2009,35(4):59-67.
- [17] 杜继稳,李明娟,张弘,等. 青藏高原东北侧突发性暴雨地面能量场特征[J]. 高原气象,2004,23(4):453-457.
- [18] 井喜,屠妮妮,井宇,等. 中国MCC时空分布与天气学特征分析[J]. 高原气象,2013,32(6):1597-1607.
- [19] 任素玲,蒋建莹,许建民. 卫星水汽通道探测所揭示的高空流场在南亚高压东侧强降水分析中的应用[J]. 气象,2014,6(4):697-705.
- [20] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓青. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报,1995,53(4):387-404.
- [21] 余小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 新一代天气雷达原理与应用讲义[M]. 中国气象局培训中心,2004.