

Analysis on Characteristics and Causes of 2 Consecutive Days Short-Time Rainstorm in Qingyang

Meiling Jiao¹, Lijie Yang¹, Hongfen Zhang¹, Yaqi Lu¹, Qiaoxia Li²

¹Qingyang Meteorological Bureau, Qingyang Gansu

²Huanxian Meteorological Bureau, Huanxian Gansu

Email: jml_920@163.com

Received: Jun. 19th, 2017; accepted: Jul. 14th, 2017; published: Jul. 17th, 2017

Abstract

Using the Micaps conventional data and regional meteorological stations precipitation observations, the author analyzed circulation background, mesoscale characteristics and physical index of short-time rainstorm in Qingyang from 9 to 11 July 2016. The results are as follows: 1) The short-time rainstorm on 2 consecutive days occurred in the stable continental anticyclone. A convergence at mid-low level was formed by the trough shear line, and a strong divergence in the upper was formed by jet on the eastern of South Asia High, and an ascend movement was formed over the rainstorm area by coupling of high-low system. The water vapor convergence and wet layer obviously thickened in Qingyang under the interaction of Typhoon Nepartak and the subtropical high, and the shear line triggered high temperature and high humidity energy, and caused rainstorm weather. 2) The surface mesoscale convergence line was an important factor in triggering rainstorm that corresponded well with short-time strong rainfall. 3) "7.9" rainstorm was caused by mesoscale convective cloud clusters replacement in the precipitation area. Dry intrusion in middle-high level and warm advection at low level were obvious, so that stronger precipitation intensity formed. "7.10" rainstorm was caused by mesoscale convective cloud clusters that were merged into the mesoscale convective cloud zone through precipitation area, so that it had wider range of influence and longer time duration. 4) Through two analysis processes, the author found upper significant cold advection, warm advection at lower environment, stably enhanced high humidity energy, dry and caused unstable stratification were advantageous to short-time rainstorm in Qingyang.

Keywords

Short-Time Rainstorm, Meso-Scale, Surface Convergence Line, Temperature Advection

庆阳市连续2天短时暴雨特征及成因分析

焦美玲¹, 杨丽杰¹, 张洪芬¹, 路亚奇¹, 李巧霞²

文章引用: 焦美玲, 杨丽杰, 张洪芬, 路亚奇, 李巧霞. 庆阳市连续 2 天短时暴雨特征及成因分析[J]. 气候变化研究快报, 2017, 6(3): 164-176. <https://doi.org/10.12677/ccrl.2017.63018>

¹甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 庆阳

²甘肃省环县气象局, 甘肃 环县

Email: jml_920@163.com

收稿日期: 2017年6月19日; 录用日期: 2017年7月14日; 发布日期: 2017年7月17日

摘 要

利用Micaps常规资料以及区域气象站降水观测资料,对2016年7月9~11日庆阳市短时暴雨天气过程的环流背景、中尺度特征及物理指数进行了分析。结果表明: 1) 连续2天短时暴雨发生在稳定的大陆高压脊中。低槽切变线形成中低层辐合, 东部型南亚高压前部急流形成高空强辐散, 高、低空系统耦合使暴雨区有较强上升运动。台风“尼伯特”和副热带高压作用下, 庆阳市水汽辐合, 湿层明显增厚, 切变线触发高温高湿能量, 造成暴雨天气。2) 地面中尺度辐合线是触发暴雨的重要因子, 其与强降水有很好的对应关系。3) “7.9”过程为中小尺度对流云团在降水区的更替造成, 中高层“干侵入”、低层暖平流明显, 降水强度大。“7.10”过程为中小尺度对流云团合并为中尺度对流云带经过降水区造成, 强降水影响范围广, 持续时间长。4) 通过分析两次过程, 发现高层显著冷平流, 中低层暖平流环境, 以及稳定增强的高湿高能和上干下湿的不稳定层结均有利于庆阳短时暴雨的产生。

关键词

短时暴雨, 中尺度, 地面辐合线, 温度平流

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

短时暴雨是中国黄土高原边坡地带夏季最为频发最易致灾的强对流天气之一, 其引发的暴洪灾害所造成的人员伤亡和对农业的损失达到气象灾害之最[1] [2]。很多学者[3] [4] [5] [6]对黄土高原发生暴雨的环流形势和环境场进行了分析, 也有学者针对其发生机制的不同进行了可预报性研究[7]-[11], 取得了一定成果。但普遍认为短时暴雨突发性强, 时间集中、落区分散, 灾损重, 强度及落区很难把握, 是汛期气象服务工作的重点和难点所在。

庆阳市位于甘肃省东部, 地处 106°45'E~108°50'E 与 35°10'N~37°20'N 之间, 辖 7 县 1 区, 属黄土高原沟壑地带, 地势西北高东南低, 山、川、塬兼有, 沟、峁、梁相间, 地貌格局造成该地强降水以及地质特征均具有多样性, 一旦遇到较强降水就容易造成暴洪灾害[12] [13] [14] [15] [16]。如 2013 年 7 月 14 日夜间环县樊家川暴洪灾害造成 4 人死亡、6 人失踪和巨大的财产损失, 2014 年 6 月 18 日夜间华池县悦乐镇 2 名小孩被洪水冲走, 而这些灾害都是因 2~3 h 的暴雨引发山洪所致。在这方面也有气象工作者做了一定的研究, 路亚奇等[17]分析了局地短时致灾暴雨的成因, 王位泰等[18]针对暴雨的雷达回波特征进行了分析。但是, 由于受控制天气系统位置、强度的异同, 致使暴雨强度及落区在实际预报业务中, 总存在很大的不确定性。因此, 总结分析每次过程的异同点, 积累可预报性经验指数, 对提升防灾减灾能力具有很大意义。本文针对盛夏连续 2 天短时暴雨环流背景、中尺度、物理量等特征进行分析, 以期能

为庆阳市短时暴雨预报预警提供更多参考。

2. 天气实况及灾情

2016 年 7 月 9~11 日，甘肃省庆阳市连续 2 天发生短时暴雨天气。193 个雨量监测站中 9-10 日(“7.9”过程，下同)有 5 站(次)24 h 降水量 ≥ 50 mm，最大庆城县蔡家坪 88.8 mm。出现短时强降水 16 站(次)，集中于 9 日 15: 00~10 日 02: 00 (北京时，下同)，持续 11 h，10 min 最大雨强 25.5 mm，1 h 最大 52.5 mm，2 h 最大庆城县蔡家坪 88.1 mm，落区位于庆阳市东部偏北的华池 - 庆城 - 合水一线，呈南北带状分布(图 1(a))。10~11 日(“7.10”过程，下同)有 8 站(次)24 h 降水量 ≥ 50 mm，最大合水县蒿咀铺 85.5 mm。出现

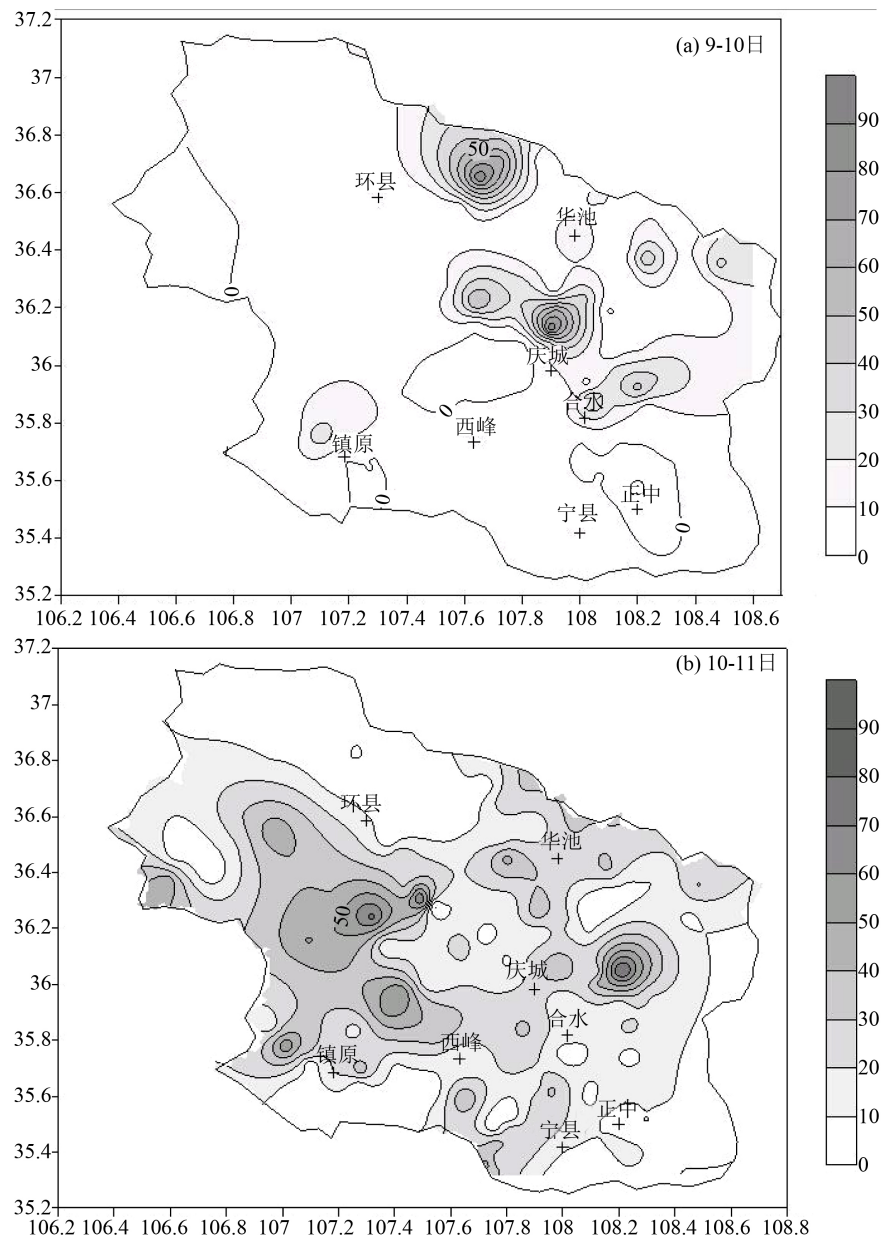


Figure 1. The 24 hours accumulative precipitation in Qingyang on 9~10 (a) and 10~11(b) July 2016 (Unit: mm)

图 1. 庆阳市 2016 年 7 月 9~10 日(a) 10~11 日(b) 24 h 降水量分布图(单位: mm)

短时强降水 24 站(次), 集中于 15: 00-11 日 08: 00, 持续 17 h, 10 min 最大雨强 17.2 mm, 1 h 最大 55.2 mm, 2 h 最大合水县蒿咀铺 71.2 mm, 落区呈 2 条南北带状分布, 一条位于庆阳市西部即环县西南 - 镇原 - 西峰 - 宁县西部, 另一条位于东部即华池 - 庆城东部 - 合水(图 1(b))。

据庆阳市民政局灾情资料显示, 此次强降水致使环县、华池、庆城、镇原等地出现洪涝灾害, 洪水淤埋农田, 倒塌毁坏房屋(窑洞), 冲走或淹死家畜, 冲毁县、乡、村级公路, 损毁水利、电力设施, 造成直接经济损失 2500 万元。

由上可知, 连续 2 天短时暴雨过程集中在下午到夜间, 强中心 1 h 降水量均接近或超过 50 mm, 2 h 雨量接近于过程最大值, 落区呈带状分布, 强降雨带两侧, 降水量明显减小。“7.10”降水强度略弱于“7.9”, 但持续时间更长, 影响范围更广。

3. 环流形势分析

2016 年 7 月 9 日 08:00 图 2(a)~图 2(d), 200 hPa (图 2(a)), 南亚高压增强呈东部型, 中心位于青海东部, 强度 1263 dagpm, 庆阳市位于其前部偏北大风速带($\geq 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)上, 高层抽吸作用增强, 300~400 hPa 暴雨区附近出现强辐散中心, 散度值 $> 6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; 500 hPa (图 2(b)), 巴尔克什湖至新疆西北部(以下简称新疆低槽)和中国东北地区东部为低槽, 在 2 槽之间, 大陆高压 584 dagpm 脊线稳定维持, 高压脊内河套至河北西部有中尺度低压, 低压中心为 583 dagpm, 低压后部冷空气下注影响庆阳市北部; 700 hPa (图 2(c)), 低槽东移南压至蒙古国南部, 河套 - 庆阳北部 - 武都有切变线, 虽无明显的低空急流, 但在台风 [19]“尼伯特”和副热带高压作用下, 来自海上和热带的暖湿气流从云南向北沿高原东侧伸展至甘肃东部, 庆阳市中部水汽辐合, 湿层增厚。对应温度场上, “舌状”暖温度脊自青藏高原东部向北伸展至贝加尔湖南部; 地面图上(图 2(d)), 河套以南地区为热低压控制。因此, 庆阳低层形成了高温高湿的环境, 对流潜势增强。伴随午后太阳辐射, 近地层湿热能量继续增加, 大气层结不稳定性增强。故而中尺度低压、切变线触发不稳定能量, 造成了 9 日庆阳市中东部出现短时暴雨。

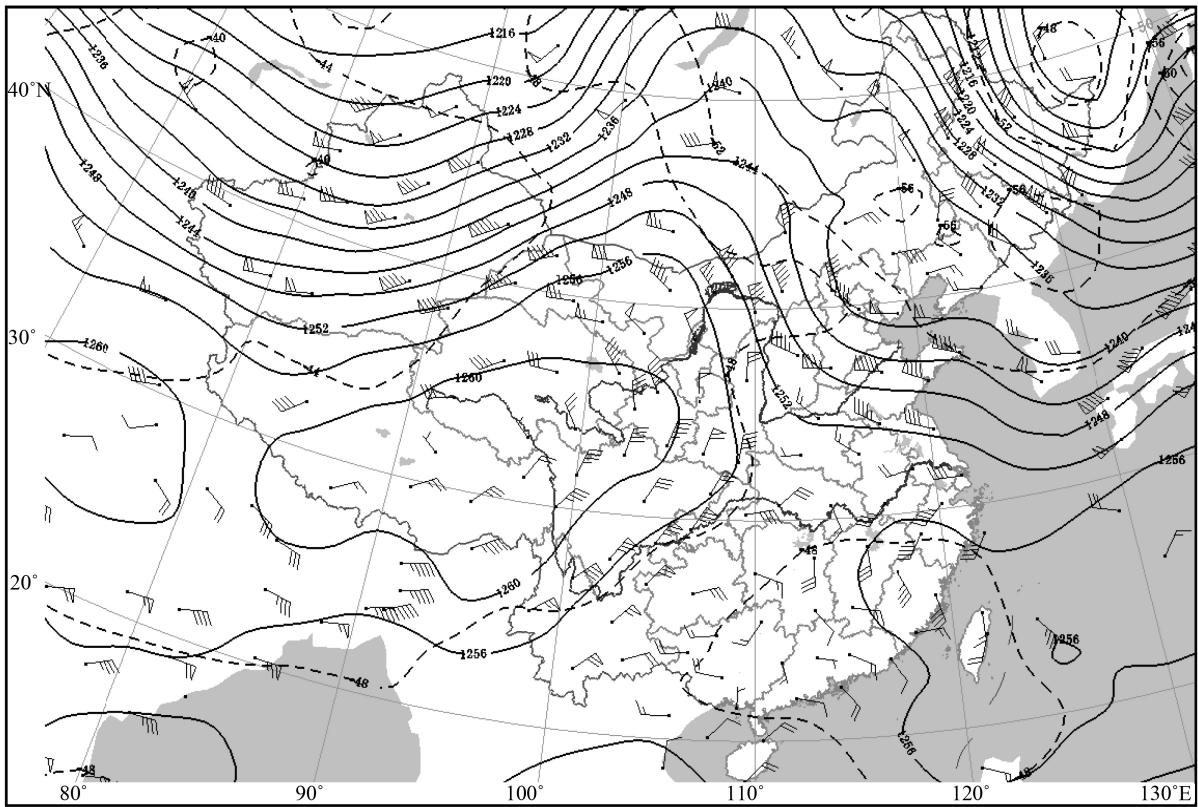
7 月 10 日 08:00 (图略), 200 hPa 南亚高压继续增强, 出现 3 条闭合等值线, 中心位置略东移, 强度达 1272 dagpm; 500 hPa 新疆低槽偏东北移至贝加尔湖至蒙古国南部, 受台风“尼伯特”缓慢北上影响, 584 dagpm 脊线位置变化不大, 高压边缘有小槽引导冷空气侵入河套以南大部地区; 700 hPa 河套西部及甘肃民勤 - 夏河有“人”字形切变, 偏南气流及“舌状”暖温度脊维持。地面形势场与 9 日相似。庆阳市湿度增加, 湿层增厚, 受“人”字形切变影响, 10 日强降水范围更广, 持续时间更长。

以上分析表明, 连续 2 天暴雨发生在稳定的大陆高压脊中, 200 hPa 东部型南亚高压前部偏北急流在庆阳市高空形成强辐散中心, 500 hPa 高压边缘低槽引导冷空气侵入河套以南地区, 形成中、低层辐合。台风“尼伯特”和副热带高压作用下, 偏南气流显著, 暴雨区水汽辐合, 湿层增厚, 切变线触发低层高温高湿能量, 造成暴雨天气。

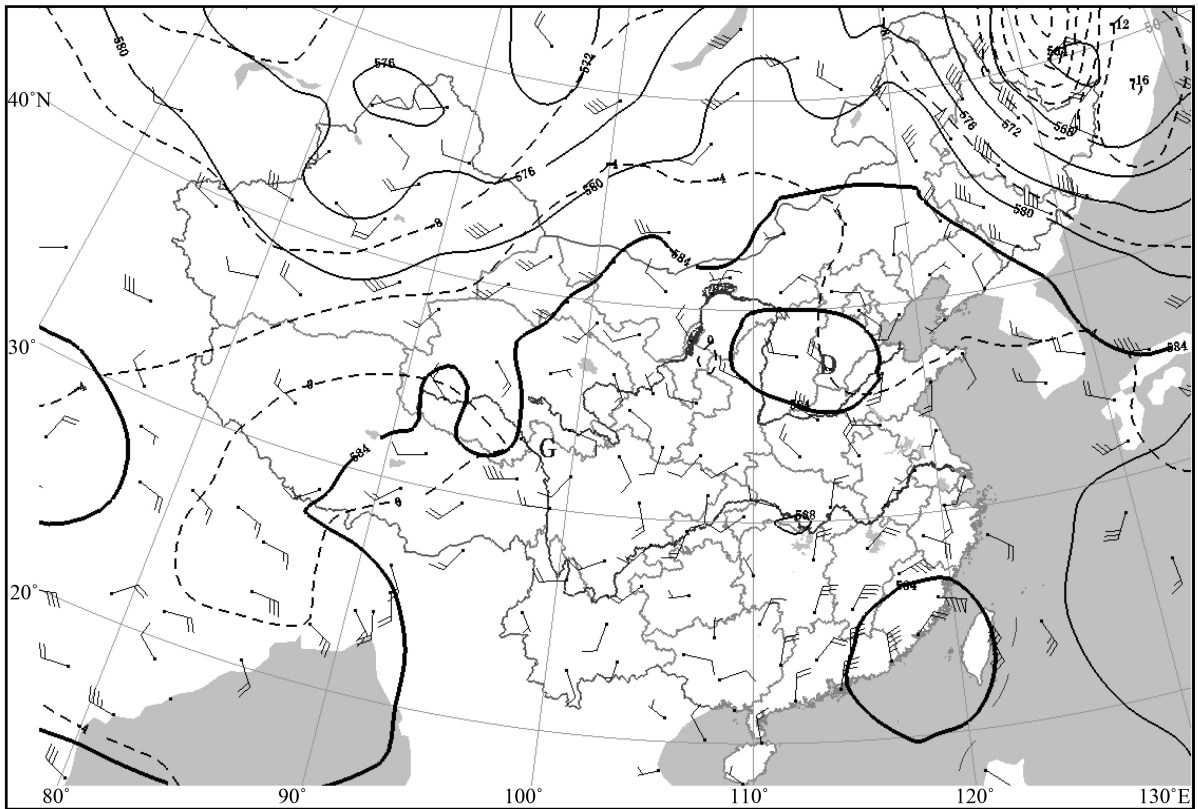
4. 中尺度对流系统特征

4.1. 中尺度综合分析

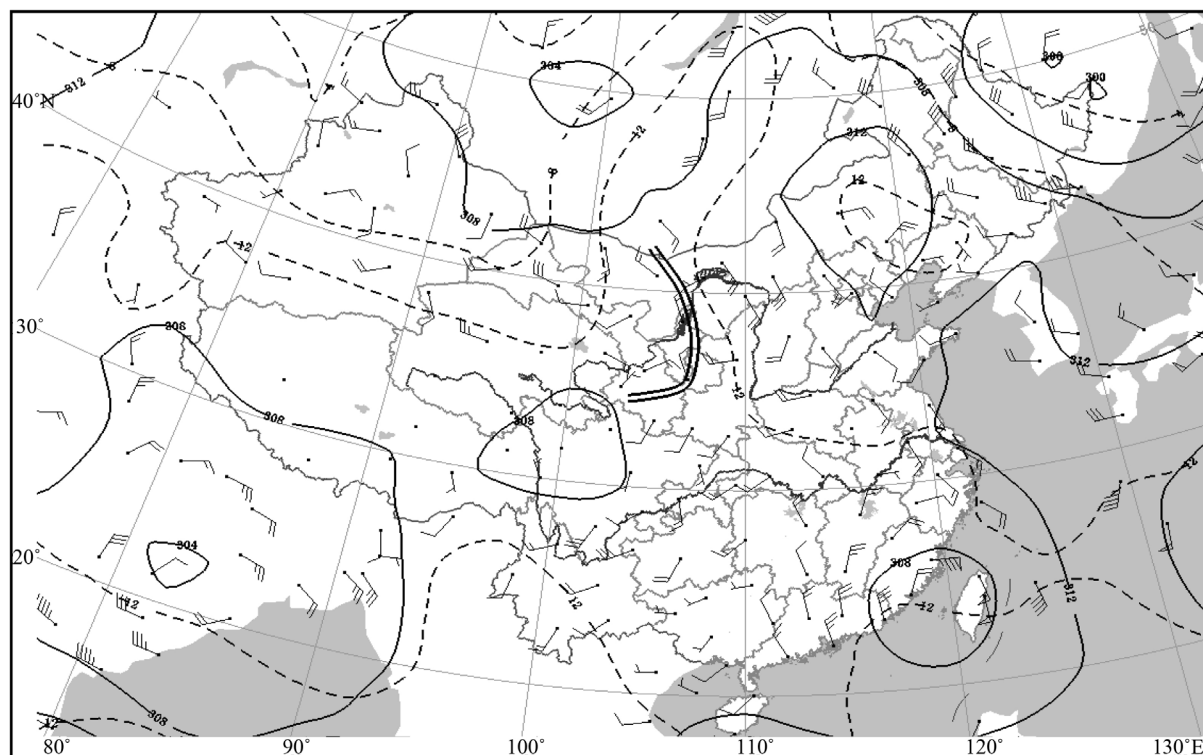
中尺度天气图分析已成为近年强对流天气短时临近预报的重要参考依据[20]。由图 3 可知, 500 hPa 庆阳市北部的河套及偏东北地区为显著干区($T-T_d \geq 15^\circ\text{C}$), 700 hPa 陇东南地区有湿舌, 比湿 $\geq 12 \text{ g/kg}$, 湿舌东北向伸展至庆阳市, 可见暴雨区中高层为干区, 低层为明显的高湿区; 700 hPa 有暖舌, $T_{700-300} \geq 40^\circ\text{C}$, 高低层温差显著, 同时 9 日 $K \geq 32^\circ\text{C}$, 10 日存在 $K = 40^\circ\text{C}$ 大值中心。说明庆阳市 2 天均存在中高层干冷、低层暖湿的不稳定条件, 且暖湿条件不断增强; 700 hPa 切变线和地面辐合线使低空暖湿气流辐合上升, 500 hPa 低槽、200 hPa 偏北急流从干区南下穿过湿区, 使得庆阳中高层辐散抽吸作用增强,



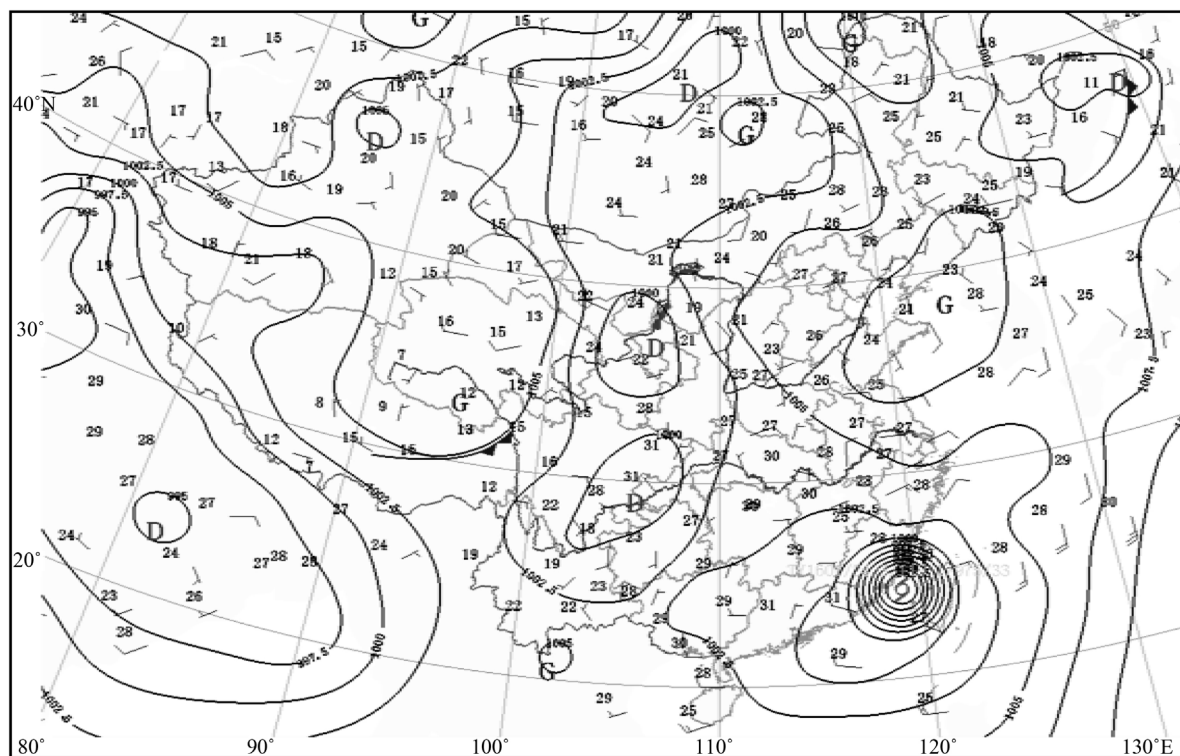
(a)



(b)



(c)



(d)

(实线为高度场, 单位: dagpm; 虚线为温度场, 单位: °C, 双实线为切变线)

Figure 2. The circulation on 200 hPa (a), 500 hPa (b), 700 hPa (c) and surface (d) at 08: 00 on 9 July, 2016

图 2. 2016 年 7 月 9 日 08: 00 200 hPa (a), 500 hPa (b), 700 hPa (c) 及地面 (d) 天气图

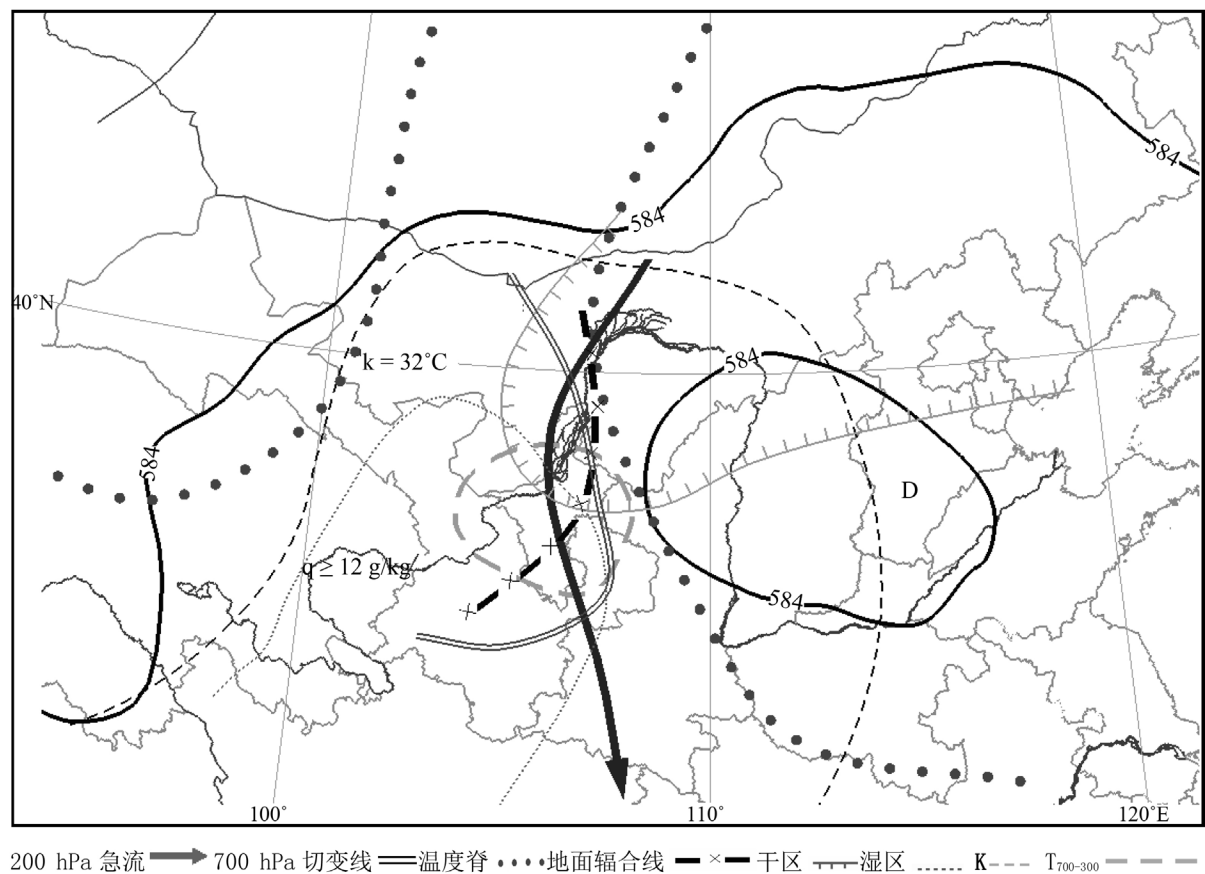


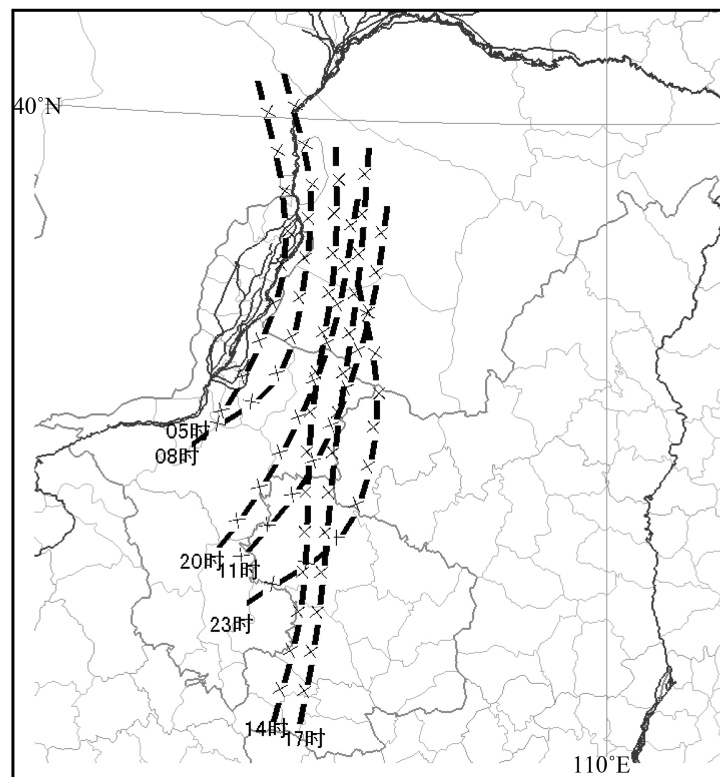
Figure 3. Mesoscale-analyzed at 08:00, 9 July 2016
图 3. 2016 年 7 月 9 日 08: 00 中尺度分析

三者共同影响，为暴雨提供了较强的动力抬升条件；由此可见，这种中高层抽吸辐散，低层切变辐合，加之稳定增强的高湿高能 and 上干下湿的不稳定层结均有利于庆阳短时暴雨的产生。

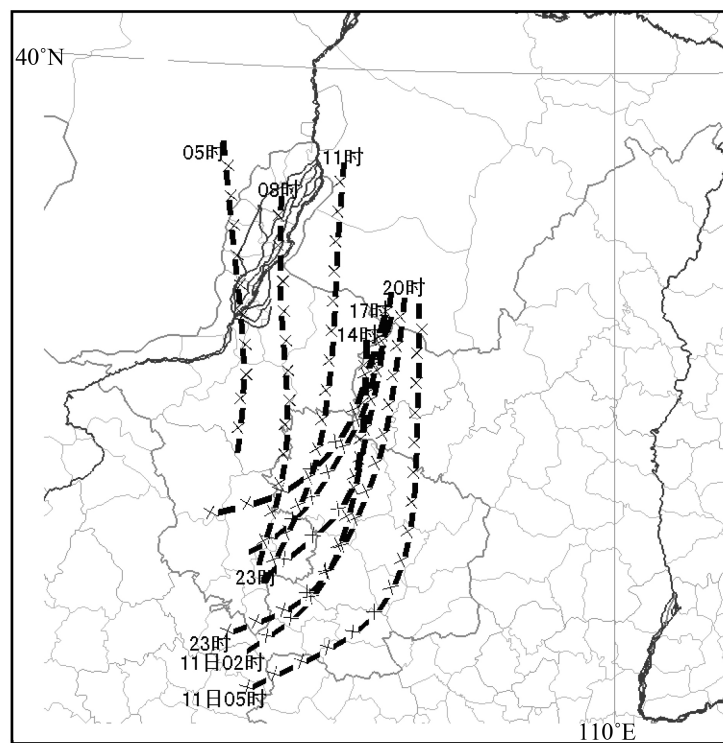
4.2. 中尺度地面辐合线

大气层结不稳定时，需要一定的抬升力才能触发对流天气的发生。已有研究[15]表明，特殊地形、锋面、低层干线、切变线等都可提供触发对流的抬升条件。利用逐 3 h 的地面天气图分析地面辐合线的演变，由图 4 可见，9 日、10 日早上在河套南部沿黄河一线就有地面辐合线稳定维持，临近中午辐合线迅速南压进入庆阳市北部环县境内，由于环县西北部地形(毛井乡马大山海拔高度 2089 m，为庆阳市最高)的抬升作用，辐合明显发展，地面辐合线为雷暴生成提供了抬升条件，因此，午后在地面辐合线附近中尺度对流云团加强发展，从而造成连续 2 天强天气的发生。

9 日(图 4(a)) 11:00 地面辐合线进入环县境内后迅速加强，这与环县西北部地形影响有直接的关系，同时与其前部的偏东气流相遇也使得辐合线更加明显，随着地面东风加强，14:00~17:00 辐合线呈准南北向，在其尾部附近的庆城县蔡家坪、马岭等地出现了持续 2 h 且小时降水量接近 50 mm 的短时暴雨。20:00 河套 - 庆阳北部又有 1 条辐合线生成并迅速东移，23:00 移至庆阳市东部并维持，使得东部华池、合水出现短时强降水。10 日(图 4(b)) 11:00 之前，地面辐合线形态与 9 日相似，并有中 - α 尺度对流云带存在，14:00 后辐合线加强呈东北 - 西南向，其尾部位于庆阳市北部，环县、华池出现小时雨强 15~19 mm 的降水。17:00 后辐合线明显增强南压，20:00 到 11 日 05:00，辐合线形态及强度无明显变化，位置有南北摆幅，



(a)



(b)

Figure 4. The surface convergence line variations by 3 hours on 9~10 (a) and 10~11 (b) July 2016

图 4. 2016 年 7 月 9~10 日(a) 10~11 日(b) 逐 3 h 地面辐合线演变图

对应卫星云图上,庆阳市大部分地方对流云团发展旺盛,且在地面辐合线位置对应有中- β 尺度的对流云团强中心,故而庆阳市中南部多地交替出现了强降水。

可见,地面辐合线是触发连续2天暴雨发生的重要因子,也是中尺度对流云团产生和加强的最直接系统。地面辐合线附近更有助于中- β 尺度对流云团的加强发展,同时,地形抬升促使辐合线增强,地面偏东、偏南风的加强与减弱,也影响到辐合线的形态、位置与强度。

4.3. 中尺度云团特征分析

图 5(a)~图 5(d)是 7 月 9-11 日强降水时段 FY-2G 红外云图变化情况。9 日对流云团发生发展有 2 次过程,第一次过程是 14:00~21:00, 14:00 庆阳市北部有中- β 尺度对流云团生成, 16:45 (图 5(a)), 对流云团显著发展,并在庆阳市东、西两侧各生成一个 β 尺度单体,云顶亮温 TBB 最低为 -56°C ,强降水开始, 17:00 后两单体逐渐合并,并在庆阳市东部形成一椭圆状强对流云团,结构密合,边界清晰, TBB 梯度增大,最低为 -60°C ,这一过程中,庆阳市有 13 个区域站出现强降水,最强点 $47.2\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,后该云团东南方向逐步移出庆阳市;第二次过程是 19:00~10 日 02:00, 19:15 (图 5(b)), 河套南部有多个对流云团迅

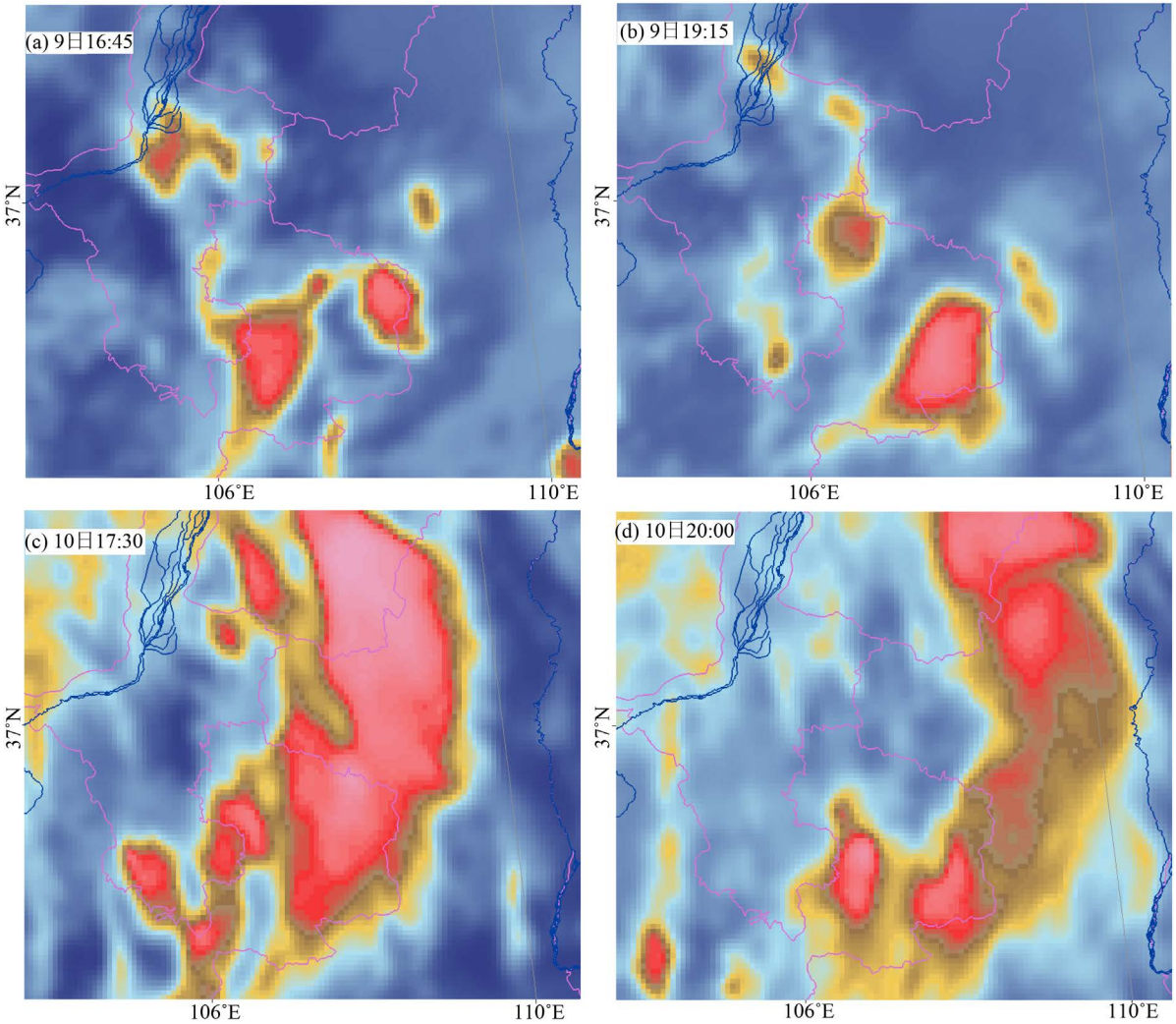


Figure 5. The infrared cloud images of FY-2G from 9 to 10 July 2016

图 5. 2016 年 7 月 9~10 日 FY-2G 红外云图

速南下合并进入庆阳市, 22:00 后在华池东部发展成熟为中- β 尺度云团, 但面积范围较上一过程小, 结构较松散, TBB 为 -48°C , 持续时间较短, 故而这一时段内仅有 3 站出现强降水, 强度也明显减弱。

10 日 12 时左右, 河套地区沿冷空气下滑位置, 有中- α 尺度对流系统生成, 在 200 hPa 南亚高压反气旋背景下, 顺时针旋转逐步逼近庆阳市, 13 时左右在河套南部至庆阳市北部形成中- β 尺度准南北向的对流云带, TBB 为 -43°C 。随着系统缓慢旋转南压, 云带呈单切变线型向东南弯曲, 17:30 (图 5(c))其尾部 TBB 达 -53°C , 到 20:00 庆阳北部有 3 站出现强降水, 最强 $31.8 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。同时, 18 时左右, 云带后侧又有一对流单体生成, 并迅速发展增强呈椭圆状, TBB 稳定达 -58°C , 随着其缓慢东移南压, 21 站出现短时强降水, 最强 $55.2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。对流云团于 8 时左右移出庆阳, 整个强降水过程结束。

由此可见, 连续 2 天的短时暴雨是在河套冷空气下滑影响下, “7.9” 过程为中小尺度对流云团在降水区的不断新陈代谢造成, “7.10” 过程强降水为中小尺度对流云团合并为中尺度对流云带经过降水区造成, 地面辐合线与中- β 尺度对流云团有很好的对应关系, 中- β 尺度对流云团是产生本次短时暴雨的直接系统。

5. 对流环境条件

5.1. 温度平流

温度平流既可造成大气层结不稳定, 又可促使垂直运动, 有利于强对流天气的发生[21]。沿 108°E 分别做 7 月 9 日、10 日温度平流经向剖面(图略), 可知暴雨区温度平流分布, 近地面层(850 hPa)以下为弱的冷平流, 中低层(500~700 hPa)为正温度平流, 2 天暖平流中心均位于 700 hPa, 中心强度分别为 $10 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $4 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 高层(300~100 hPa)有显著冷平流, 冷平流中心均位于 200 hPa 附近, 中心强度 $\leq -16 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。因此, 2 天从近地层到高层温度平流依次为弱冷—暖—显著冷的分布, 即早晨由于近地逆温层的存在(图略), 较为稳定, 其余层次均不稳定, 但随着上午地面辐射增强, 低层大气迅速升温, 逆温层消失, 大气会变得更加不稳定。说明这种上冷中下暖的平流环境有利于暴雨的发生。且 2 天高层冷平流强度相当, 但 9 日中低层暖平流略强于 10 日, 致使 9 日降水更加剧烈。

5.2. 能量与不稳定条件

5.2.1. 假相当位温(θ_{se} 分布)

从 θ_{se} 的时间剖面(图 6)可以看出, 7~9 日, θ_{se} 逐日增大, 大值中心均位于 850 hPa 附近, 表明前期大气低层已有暖湿能量聚积, 9 日 20 时达到了 88°C 高能中心并维持至 10 日 20 时, 在对流层中层(500 hPa 附近)均出现 θ_{se} 低值中心(9 日 71°C , 10 日 73°C), 对应着干冷空气。过程变化表明, 暴雨发生前期, 能量有一个明显的聚积过程, 发生时低层能量出现高值中心, 中层出现低值中心。同时也发现, θ_{se} 的大值中心同总温度的高值区相对应, 这种低层高温高湿, 中层较干冷及不稳定层结非常有利于突发性短时暴雨的发生。

5.2.2. 不稳定条件

分析庆阳周边探空站(北部银川、东部延安、西部平凉, 距离庆阳直线距离均在 150 km 以内)数据。

1) 整个过程中, 3 站 700 hPa 温度露点差(图略)均 $< 4^{\circ}\text{C}$, 甚至接近饱和, 说明庆阳周边区域低层水汽充沛。不同的是: 9 日 3 站 500 hPa 温度露点差显著增大, 特别银川站 08 时、20 时差值分别达 16°C 、 33°C , 延安站差值分别为 8°C 、 16°C 。而 10 日 3 站 500 hPa 及以下温度露点差又迅速减小, 接近饱和。这进一步说明 9 日中高层有干空气自东北方向侵入, 呈上干下湿的层结分布, 10 日湿层明显增厚。

2) 过程前期, K 指数(图 7(a))保持在 35°C ~ 40°C , 过程中 K 值增大至 37°C ~ 44°C 。稳定增大的 K 值使对流潜势不断增强。

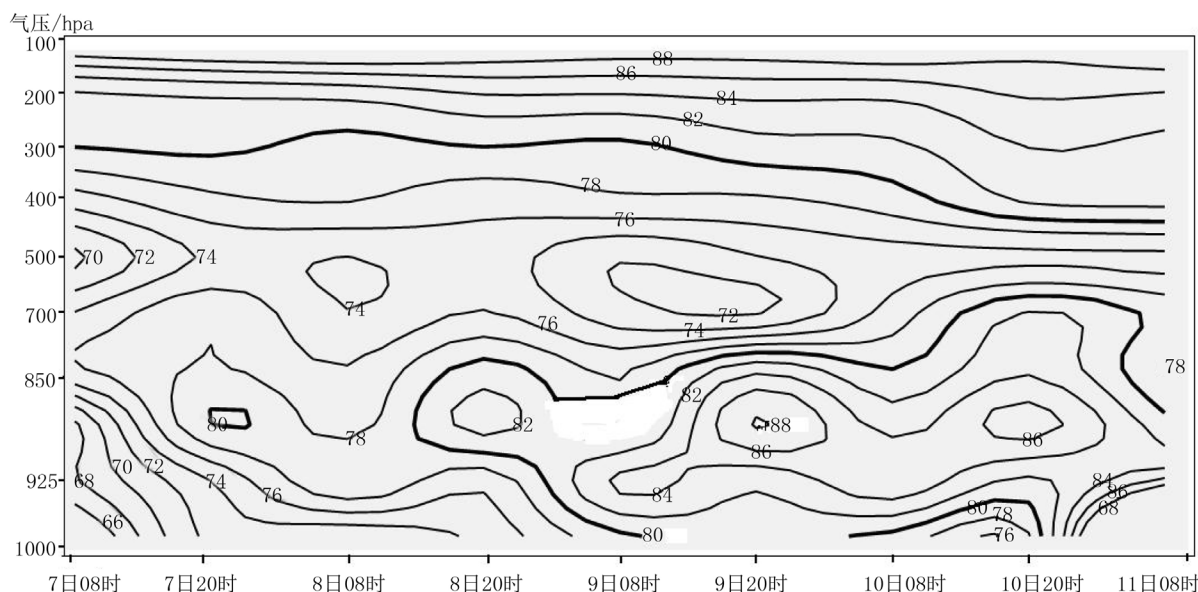


Figure 6. The time profile of θ_{se} (Unit: $^{\circ}\text{C}$) from 08:00 July 7 to 08:00 July 11 2016 in Qingyang
图 6. 2016 年 7 月 7~11 日庆阳上空 θ_{se} (单位: $^{\circ}\text{C}$) 时空剖面图

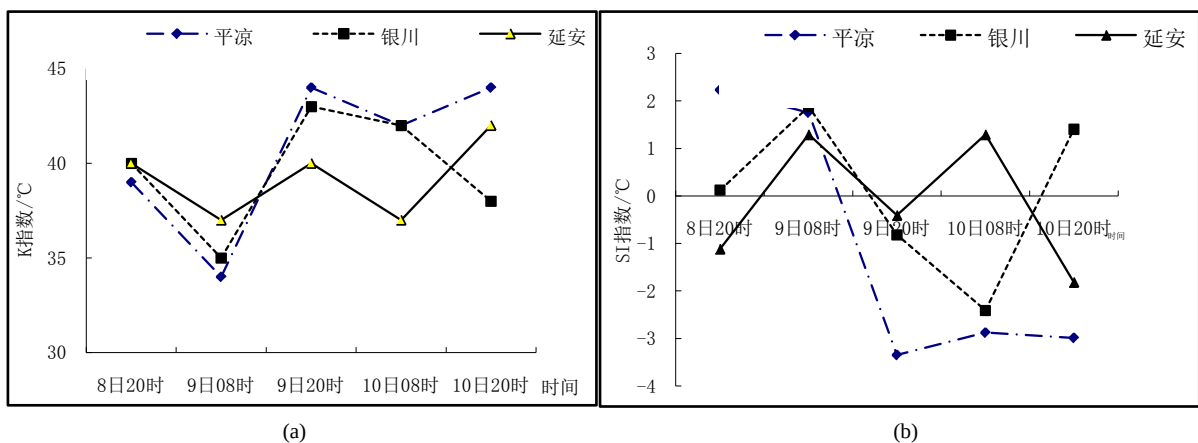


Figure 7. Time series of K index (a) and SI index (b) at 3 radiosonde stations around Qingyang during from 8 to 10 July, 2016
图 7. 2016 年 7 月 8~10 日庆阳周边 3 探空站 K 指数(a)和 SI 指数(b)时序

3) SI 指数(图 7(b))先升后降, 9 日 20 时 3 站大幅下降至 0°C 以下, 平凉站降至谷点 -3.4°C , 对应 3 站对流稳定度指数(图略)也剧降至最低点, 平凉 -12.7°C , 银川 -28.3°C , 延安 -20.2°C , CAPE 值均突增至 $500 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上, 表明此时庆阳周边地区大气具有有效高能和极度不稳定状层结状态, 且偏北偏东区域对流性不稳定更加明显, 这与 9 日傍晚庆阳东北部出现短时暴雨相吻合。10 日 08 时, 平凉、银川站的 SI 指数均保持在 0°C 以下较低点, CAPE 较前日略减小但仍保持较大值。而延安站 SI 指数已升至 0°C 以上, CAPE 值也迅速减小, 表明偏东区域能量已释放, 而北部和南部仍存在不稳定能量和强对流潜势, 随着切变线东移, 10 日下午到夜间庆阳市偏西偏南区域再度出现强降水。

6. 小结

- 1) 连续 2 天短时暴雨过程均发生在稳定的大陆高压脊中, 湿热高能积聚。高压边缘低槽下滑冷空气

以及切变线形成中低层辐合,东部型南亚高压前部偏北急流形成高层强辐散,高、低空系统耦合使得暴雨区形成较强上升运动。台风“尼伯特”和副热带高压作用下,庆阳市水汽辐合,湿层明显增厚,切变线触发高温高湿能量,造成暴雨天气。

2) 地面辐合线是触发连续2天暴雨发生的重要因子,也是中尺度对流云团产生和加强的最直接系统。地面辐合线与强降水有很好的对应关系,中- β 尺度对流云团是产生本次短时暴雨的直接系统。

3) 高层显著冷平流,中低层暖平流环境有利于暴雨的发生。“7.9”过程中高层“干侵入”、低层暖平流更明显,降水强度大。“7.10”过程湿层增厚,降水持续时间更长。

4) FY-2G 红外云图演变分析表明,2天的短时暴雨是在河套冷空气下滑影响下形成中尺度对流云团。“7.9”过程为中小尺度对流云团在降水区的更替造成,TBB更低,雨强大,区域相对分散,持续时间短;“7.10”过程强降水为中小尺度对流云团合并为中尺度对流云带经过降水区造成,影响范围广,持续时间长。

5) 庆阳周边探空站物理量指数的变化对强降水落区和时间有较明显的指示意义,但这些指数还需笔者通过更多的天气个例分析总结,凝炼可用性指标,来作为庆阳市局地强降水产生的判据。

基金项目

甘肃省气象局科技项目“陇东暖区切变暴雨特征及成因分析”(2015-06)资助。

参考文献 (References)

- [1] 樊李苗. 短时强降水发生的环境条件和个例分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国气象科学研究院, 2012.
- [2] 白晓平. 西北地区东部短时强降水特征及预报研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [3] 张晓露, 李照荣, 周筠, 等. 西北地区东部夏季一次典型暴雨的分析和数值模拟[J]. 干旱气象, 2015, 33(4): 616-625.
- [4] 陈豫英, 陈楠, 谭志强, 等. 2012年6月26-29日宁夏强降水成因[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 599-607.
- [5] 赵东旭, 杨晓玲, 周华, 等. 甘肃武威市一次局地大到暴雨天气成因分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 149-155.
- [6] 李玲萍, 狄潇泓, 刘新伟, 等. 河西走廊东部“6.27”突发性暴雨特征与成因[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 941-947.
- [7] 王楠, 李萍云, 井宇. 一次短时强降水过程中的干侵入作用[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 138-143.
- [8] 樊晓春, 王若升, 王位泰, 等. 甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨诊断分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 240-245.
- [9] 樊晓春, 王若升, 李常德, 等. 2010年7月甘肃东部一次致灾大暴雨诊断[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 342-347.
- [10] 郭大梅, 方建刚, 侯建忠. 陕西一次远距离台风暴雨天气分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 138-143.
- [11] 王伏村, 许东蓓, 张德玉, 等. 西北地区东部一次大暴雨天气过程的诊断分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 452-462.
- [12] 李栋梁, 谢金南. 甘肃河东年降水量的周期变化[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 295-303.
- [13] 林纾, 陆登荣, 王毅荣, 等. 1960年代以来西北地区暴雨气候变化特征[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(3): 16-21.
- [14] 张芝贤, 张强, 赵庆云, 等. 陇东南地区短时强降水的雷达回波特征及其降水反演[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 530-538.
- [15] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 194-198, 320-343, 375-381, 449-453.
- [16] 蒲金涌, 苗具全, 姚小英, 等. 甘肃省暴雨洪水灾害分布特征研究[J]. 灾害学, 2006, 21(1): 27-31.
- [17] 路亚奇, 王建, 焦美玲. 2012年庆阳市一次短时大暴雨的诊断[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 542-549.
- [18] 王位泰, 王智丽, 张天峰, 等. 一次持续大暴雨过程新一代天气雷达回波特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(3): 315-321.
- [19] 刘子臣, 梁生俊, 张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 402-409.

- [20] 张小玲, 张涛, 刘鑫华, 等. 中尺度天气的高空地面综合图分析[J]. 气象, 2010, 36(7): 145-148.
- [21] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 315-326, 410-411.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org