

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, [ZHAO Dongxu, YANG Xiaoling, ZHOU Hua, et al. Analysis of a Heavy Rainfall Process in Wuwei of Gansu in 2013[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(1):149–155], doi:10.11755/j. issn. 1006 – 7639(2015) – 01 – 0149

甘肃武威市一次局地大到暴雨天气成因分析

赵东旭¹, 杨晓玲¹, 周华², 刘蓉³

(1. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733099; 2. 甘肃省古浪县气象局,
甘肃 古浪 733100; 3. 甘肃省民勤县气象局, 甘肃 民勤 733300)

摘要:利用常规天气图、FY-2D 卫星云图、单站地面资料、NCEP 再分析物理量场资料, 对 2013 年 8 月 6 日发生在甘肃武威市对流性强降雨天气成因进行了诊断分析。结果表明: 强降雨是在一定的大尺度环流背景下高低层天气系统共同作用下发生的, 地面气象要素的剧烈变化是强对流天气能量的释放过程; 湿度条件和水汽在本地辐合为大到暴雨提供了充沛的水汽; 高层辐散、低层辐合以及强烈的上升气流是大到暴雨发生的动力条件; 强烈的不稳定能量和不稳定层结是对流增强、雨强较大的必要条件; 对流云团的发展和加强是降雨强度较大的直接原因。

关键词: 大到暴雨; 环流形势; 物理量场; 诊断分析; 对流云团

文章编号: 1006 – 7639(2015) – 01 – 0149 – 07 doi:10.11755/j. issn. 1006 – 7639(2015) – 01 – 0149

中图分类号: P458.1[†]21.1

文献标识码: A

引言

暴雨及强降雨是影响我国夏季的主要灾害天气之一, 其引发的洪涝灾害常给人民生命财产和国民经济带来巨大损失^[1]。西北地区地处亚欧大陆内陆, 是我国最干燥的地区, 属干旱、半干旱气候区, 植被稀疏, 岩体裸露面积大, 强降雨常造成山洪、泥石流等灾害, 导致严重的水土流失, 对自然环境造成极大的破坏。因此, 气象工作者从各个方面对西北地区强降雨的相关研究也较多^[2–17], 并取得了很多有价值的成果。但随着全球气候变暖和气象灾害的频发, 对暴雨及强降雨发生机制的探讨以及预报技术改进始终是预报业务一线人员的工作重点。

武威市地处青藏高原北坡, 南靠祁连山脉, 北邻腾格里和巴丹吉林沙漠, 东接黄土高坡西缘, 地理位置大致为 37°10'N ~ 39°24'N, 101°06'E ~ 104°14'E, 海拔高度在 1 300 ~ 3 100 m 之间。由于深居内陆, 远离海洋, 加上境内地形和海拔高度的影响, 大量水汽难以到达该地, 造成长期高温干旱, 降雨稀少, 且分布不均, 降雨主要以小雨为主, 如果出现相对当地偏大的降雨或者暴雨就有可能引发山洪、滑坡、泥石

流等一系列地质灾害, 造成生命财产和经济损失。该区强降雨及暴雨具有来势猛、速度快、持续时间短、破坏力大的显著特点, 如 2006 年 7 月 30 日凉州、古浪出现暴雨, 1 h 降雨量 48.5 mm, 死亡 3 人, 经济损失 1.9 亿元; 2011 年 8 月 15 ~ 17 日天祝、古浪出现暴雨、山洪, 累计降雨量古浪 99.8 mm、天祝天堂寺 87.8 mm, 死亡 1 人, 经济损失 1.2 亿元; 2012 年 7 月 27 ~ 29 日天祝局地暴雨天气过程, 造成经济损失 2.2 亿元, 死亡 2 人。对于武威市而言, 大到暴雨同时又是一种有利天气, 当地依靠拦蓄暴雨洪水灌溉农田, 解除农业干旱以及增加水库蓄水等。对于降雨稀少, 且以小雨为主的武威市来说, 强降雨的准确预报和防御就显得尤为重要。2013 年 8 月 6 日白天武威市出现了区域性强降雨, 局地大到暴雨, 最大降雨量达 44.6 mm, 本文就这次强降雨过程运用常规天气图、单站地面资料、FY-2D 卫星云图、物理量场等资料, 采用诊断分析方法, 对这次局地大到暴雨过程的天气成因作深入的探讨和分析, 以期找出引起强降雨的主要原因, 为本地强降雨天气的预报积累一定经验, 也为地方政府抗旱、防汛和防御山洪地质灾害提供科学依据。

收稿日期: 2013–11–13; 改回日期: 2013–11–28

基金项目: 干旱气象科学研究基金“石羊河流域干旱灾害风险评估及防御对策研究”(IAM201205) 和科技部行业(气象)专项“农田水分利用效率对气候变化的响应与适应技术”(GYHY201106029) 共同资助

作者简介: 赵东旭(1960–), 男, 甘肃永昌人, 工程师, 主要从事气象服务工作。

1 降雨实况

2013年8月6日白天武威市自西北向东南出现了一次区域性强降雨天气,全市99个雨量点均出现降雨,部分地方出现了大到暴雨,有78个雨量点 $\geq 10\text{ mm}$,25个雨量点 $\geq 25\text{ mm}$,3个雨量点 $\geq 40\text{ mm}$,超过40mm的雨量点为凉州区的张义乡44.6mm、古浪县城42.2mm、古浪的黄羊川40.4mm(表

1)。这次降雨过程的特点为降雨分布较均匀、雨强大、范围广,降雨集中的时段在05~16时,伴随强降雨凉州及南部山区出现了雷电。由于预报准确、预警及时,社会各界采取了有效的防范措施,没有造成经济损失和人员伤亡。同时,这次降雨过程有效缓解了武威市的严重干旱,对生态环境改善、大秋作物生长和水库蓄水极为有利。

表1 2013年8月6日白天武威市 $\geq 10\text{ mm}$ 的雨量点及降雨量(单位:mm)

Tab. 1 The statistics of sites with rainfall $\geq 10\text{ mm}$ and their rainfall in Wuwei on August 6, 2013 (Unit:mm)

雨量点	降雨量	雨量点	降雨量	雨量点	降雨量	雨量点	降雨量
张义	44.6	古城	27.5	新堡	17.8	新城子	12.3
古浪	42.2	西靖	25.9	石门沟	17.5	龙潭水库	11.9
黄羊川	40.2	南营	25.1	凉州区	17.3	喇叭泉	11.7
十八里堡	37.7	韩佐乡	24.6	火石沟	16.6	武南镇	11.6
黑松驿	37.6	西大滩	23.3	东大滩	16.3	天祝	11.6
安远镇	36.6	乌鞘岭	22.8	华藏寺	15.4	焦家庄	11.6
裴家营	36.1	黄羊镇	22.7	天堂	14.9	新城流通	11.4
联泉	35.2	黄花滩	22.6	林技中心	14.8	重兴	11.2
哈溪	35.1	皇城	21.3	金川峡	14.8	朱王堡	11.0
民权	34.7	清水乡	20.6	柏林水库	14.6	新城南湾	10.9
大红沟	34.7	朵什	20.5	丰乐	13.6	九墩滩	10.8
泗水	33.6	西大河	20.1	栗家庄	13.4	红崖山	10.7
大靖	31.7	永丰滩	19.9	照面山沟	13.4	永昌	10.6
旦马	31.1	清源镇	19.8	永昌镇	13.1	南山	10.5
祁连	30.5	康宁	19.6	打柴沟	12.8	林科园	10.5
谢河镇	30.2	西营镇	19.5	九墩乡	12.7	东寨	10.2
直滩	29.6	干城	19.2	中大沟	12.7	红山窑	10.2
吴家井	29.1	高坝镇	18.9	金山	12.6	夹河	10.0
古丰	29	南湖	18.4	羊下坝	12.6		
天梯山	27.9	赛什斯	18.1	双城	12.5		

2 环流形势特征

2.1 高低空环流形势

5日20时(北京时,以下同)500 hPa,整个欧亚大陆处在纬向波动气流中,没有明显的高压脊,里海和贝加尔湖一带各有一个低值系统,有东亚大槽存在,副热带高压偏东偏南,新疆为宽广的低压槽,并有冷温槽与之配合,温度槽落后于高度槽,河西走廊处在槽前的偏西气流中,湿度较大;6日08时,咸海一带有浅脊生成发展,新疆低槽东移到河西西部,河西中东部转为槽前西南暖湿气流,湿度增大到了饱

和状态, $T - T_d$ (温度露点差) $\leq 2.0\text{ }^\circ\text{C}$,槽后为西北气流,即河西中东部以北为西北风的冷平流,以南为西南风的暖平流(图1a);6日20时,咸海一带的高压脊发展东移到新疆,河西低压槽东移出河西东部武威,到达兰州、定西一带,河西走廊转为槽后西北气流。说明6日08~20时河西东部武威市是冷暖空气交汇地,强而势均力敌的冷暖空气在本地区交汇,引起本地区不稳定能量的释放,强降雨主要出现在该时段内。因此,冷暖空气在本地区交汇是导致这次强降雨天气的重要原因之一。

5日20时700 hPa,新疆到河西走廊中部为西

北气流,冷平流明显,在张掖和武威交界处到青藏高原上有切变线,河西走廊东部到高原上有一强大的暖中心,中心值达 24°C ;6日08时,河西走廊中东部湿度明显加大,张掖到武威一带的切变线转竖,稳定少动且有所加强,河西东部到高原上的暖中心迅速减弱,并在河西的中东部形成了明显的冷温槽,西

北侧冷平流明显,东南侧为较强且宽广的偏东暖湿气流,切变线前后的温差达 8°C (图1b)。6日20时,切变线东移出武威市,冷温槽东移,湿度减小,降雨结束。由此可知700 hPa切变线是该次强降雨天气的触发机制,其东南侧较强且宽广的偏东南气流所携带的暖湿空气是这次强降雨的良好水汽来源。

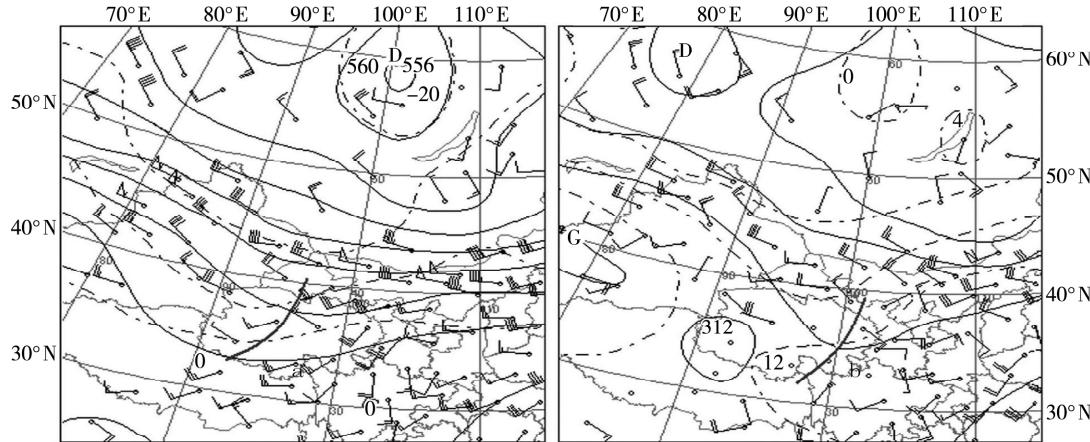


图1 2013年8月6日08时500 hPa(a)和700 hPa(b)环流形势

(实线为高度场,单位:dagpm;虚线为温度场,单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Circulation situation at 500 hPa (a) and 700 hPa (b) at 08:00 on August 6, 2013
(the solid lines for height feild, Unit: dagpm and dotted lines for temperature field, Unit: $^{\circ}\text{C}$)

2.2 地面系统及气象要素变化

5日08时地面图(图略)上,河西西部到高原上有弱的冷性高压生成,河西中东部到宁夏、内蒙一带为热低压控制,其中心值为992.0 hPa;在高压和低压之间河西中东部到高原上有一条弱冷锋;20时河西西部的冷性高压东移,其前沿到达河西东部边缘,河西东部的热低压减弱有所东移,部分地方出现雷阵雨;6日02时河西中、东部的冷锋加强,热低压进一步减弱东移,河西东部武威市处在冷锋前热低压的外围;08时河西冷高压发展加强东移,占据了整个河西走廊和高原东部,中心值达1 006.0 hPa,河西走廊出现了大范围的降雨;14时冷高压东移到河西中东部,冷高压加强,中心值达1 009.0 hPa,冷锋东移到河西东部武威一带,由于冷锋后部的冷空气楔入暖空气中,触发了强降雨的产生,使武威市自西北向东南相继出现较强的降雨,6 h降雨量凉州16 mm、古浪25 mm;20时河西东部的冷高压相对减弱,降雨趋于结束,在武威市南部山区仍有弱的降雨天气。

以古浪站为例,分析测站地面自动仪器采集到的逐小时气象要素资料发现强降雨天气出现前后,古浪站气象要素发生了剧烈变化:首先是气压、相对湿度陡升,在曲线图上逐渐形成了一个“雷暴鼻”,

气温猛降(图2),然后出现雷暴,风向急转,风速增大,最后出现强度较大的降雨。降雨结束后,气压和相对湿度下降、气温回升。气象要素的剧烈变化为不稳定能量的释放过程^[18-19],也是强降雨天气发生、发展到消亡的过程。这次强降雨天气从发生、发展到消亡的生命史约12 h。



图2 强降雨天气发生前后古浪站
实测气象要素变化

Fig. 2 Hourly change of meteorological factors at Gulang station before and after the heavy rainfall

2.3 中尺度分析

从8月6日08时中尺度(图3)分析来看,河西中东部比湿较大,武威及以东中低层为显著湿区,水

汽充沛, $T - T_d \leq 5^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 > 70%; 500 hPa 酒泉西部有高度槽, 并有冷温槽与之配合; 700 hPa 河西张掖和武威交界处有切变线, 地面张掖一带有辐合线; 武威市地面为 3 h 显著升压区, 武威的南部及河东假相当位温 > 64 °C。综上分析, 本地较大的湿度条件、低层切变线和地面辐合线的抬升以及较好的不稳定条件都是出现强降雨的重要因素。

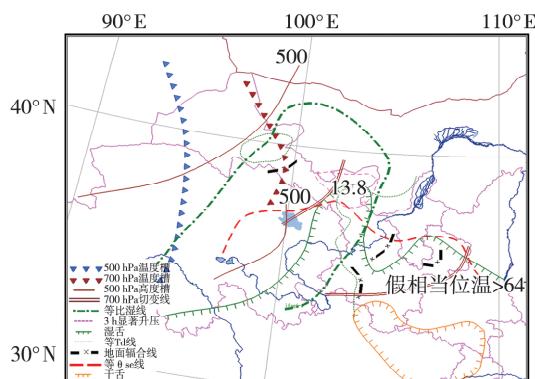


图 3 2013 年 8 月 6 日 08 时中尺度分析综合图

Fig. 3 Comprehensive diagram of mesoscale system analysis at 08:00 on August 6, 2013

3 物理量诊断

3.1 水汽条件

3.1.1 中低层水汽通量散度

5 日 20 时中层 700 hPa 水汽通量散度, 河西走廊中西部张掖、酒泉为弱辐散区, 河西走廊东部武威市为弱的辐合区, 其中心强度为 $-0.8 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$; 6 日 08 时, 张掖、酒泉仍为弱的水汽辐散区, 其中心强度为 $1.0 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$, 武威市水汽辐合中心值增强, 辐合区范围扩

大, 强度为 $-2.2 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$ (图 4a); 6 日 20 时, 强水汽辐合中心进一步东移出武威, 张掖、武威市处在弱的水汽辐合区, 其值为 $-1.0 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$ 。

5 日 20 时低层 850 hPa 水汽通量散度, 河西走廊中西部张掖、酒泉一带为水汽辐合区, 其中心强度为 $-2.9 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$, 青海东部到武威市北部为弱辐散区; 6 日 08 时, 张掖、酒泉水汽辐合区东移, 占据了整个武威市, 辐合中心值变化不大, 强度为 $-2.6 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$ (图 4b); 6 日 20 时, 武威市的强水汽辐合区迅速东移, 武威市转变成辐散区。

3.1.2 相对湿度

5 日 20 时, 中低层 850 ~ 600 hPa 青藏高原到河西走廊相对湿度只有 30% ~ 50%, 高层 500 ~ 200 hPa 相对湿度在 60% ~ 70%; 6 日 08 时, 湿度带向东北方向扩展到武威市并加强, 中低层 850 ~ 600 hPa 相对湿度在 70% ~ 80%, 高层 500 ~ 200 hPa 相对湿度 > 90%, 水汽范围较大, 其中心值在 400 hPa, 为 99% (图 5); 6 日 20 时, 武威市中低层 850 ~ 600 hPa 相对湿度略有减弱, 在 60% ~ 70%, 500 hPa 相对湿度仍 > 90%, 400 hPa 以上的相对湿度明显减小。由此可知, 这次过程武威市对流层中高层的水汽含量非常丰富, 湿度的大值中心在 400 ~ 500 hPa, 且厚度较厚, 达到了 200 hPa。

研究指出^[20~21], 暴雨的产生都必须在大气湿度达到一定高的数值后才可能发生, 即有利的水汽条件是形成暴雨的条件之一。以上分析表明, 大的湿度、较厚的湿层和源源不断的水汽连续向本地输送并长时间维持, 使得水汽在本地汇集上升, 为暴雨的产生提供了充分的条件。

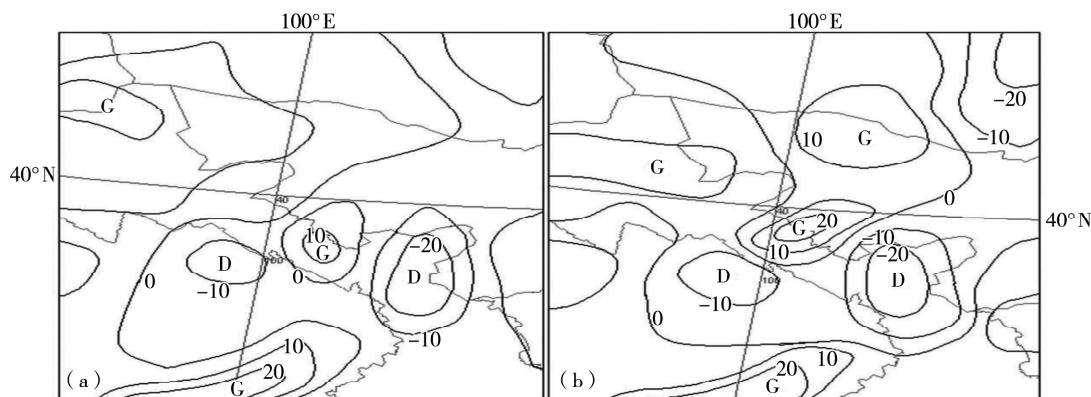


图 4 2013 年 8 月 6 日 08 时 700 hPa(a) 和 850 hPa(b) 水汽通量散度场 (单位: $10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$)

Fig. 4 Divergence filed of water vapor flux at 700 hPa (a) and 850 hPa (b)
at 08:00 on August 6, 2013 (Unit: $10^{-7} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$)

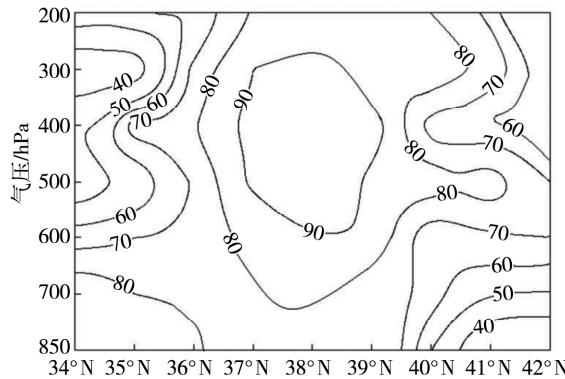


图 5 2013 年 8 月 6 日 08 时沿 103°E 的
相对湿度剖面图(单位:%)

Fig. 5 Vertical profile of relative humidity along
103°E at 08:00 on August 6, 2013 (Unit: %)

3.2 动力条件

3.2.1 散度场

5 日 20 时高层 500~300 hPa, 青藏高原为辐散带, 散度中心强度 $> 2.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 中低层 850~700 hPa, 青藏高原为辐合带, 中心强度 $< -0.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 河西走廊东部武威市处于其东北部; 6 日 08 时, 高层 500~300 hPa 辐散中心东移至武威市, 强度为 $> 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 中低层 850~700 hPa, 辐合也有所增强, 中心移至武威市, 辐合中心强度 $< -3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; 6 日 20 时辐合、辐散中心明显减弱, 850~300 hPa, 武威市基本处于无辐合辐散的状态。这次过程散度场高层辐散、低层辐合为强降雨的产生提供了动力条件。

3.2.2 涡度场

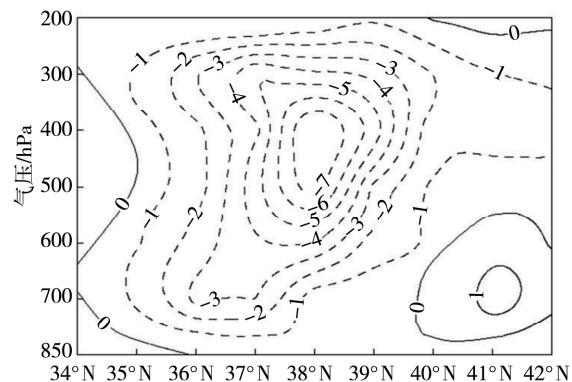
5 日 20 时高层 500~300 hPa, 青藏高原为辐散带, 涡度中心强度 $< -4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 中低层 850~700 hPa, 青藏高原为辐合带, 涡度中心强度 $> 2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; 6 日 08 时高层 500~300 hPa, 辐散中心东移至武威市, 范围有所扩大, 辐散中心强度 $< -6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 中低层 850~700 hPa, 辐合中心也至武威市, 强度变化不大, 中心强度仍为 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; 6 日 20 时, 中低层辐合中心和高层辐散中心明显减弱。这次过程涡度场中低层为辐合、高层为辐散, 且高层辐散中心强烈发展, 形成了强烈的抽吸作用, 对上升气流的形成和发展非常有利。

3.2.3 垂直速度

5 日 20 时高层 500~300 hPa, 青藏高原东部有 $-1 \times 10^{-5} \text{ hPa/s}$ 的上升气流中心, 中低层 850~700 hPa, 高原东部有 $-0.5 \times 10^{-5} \text{ hPa/s}$ 的上升气流中心; 6 日 08 时高层 500~300 hPa, 上升气流中心移至武威市, 中心值迅速加强为 $-7 \times 10^{-5} \text{ hPa/s}$, 中

低层 850~700 hPa, 上升气流中心也移至武威市, 中心值仍为 $-2 \times 10^{-5} \text{ hPa/s}$ (图 6); 6 日 20 时高层上升速度中心明显减弱为 $-1 \times 10^{-5} \text{ hPa/s}$, 低层转为弱的下沉气流。这次过程高、低层均为上升气流, 高层上升速度远大于低层, 高层强烈的上升气流是强对流天气发生和发展的有利条件。

由上述分析可知, 这次强降雨的发生与高低空的相互作用是分不开的, 在高层的辐散和低层的辐合共同作用下, 形成一种抽吸效应, 使大量水汽上升, 这种抽吸效应的形成过程和暴雨发生的时间有很好的对应关系^[22]。强烈的上升气流将水汽持续不断地向高空输送, 随着气温的降低, 水汽凝结成云致雨。散度场、涡度场及垂直速度同时有利于暴雨的产生, 并且相互影响, 不断加强, 促进了上升运动的加强和持续, 成为此次强降雨发生的重要因素。



>0, 武威市 Si 指数的中心值为 3; 6 日 08 时, 武威市 SI 指数明显减小, SI 指数中心值达 -4 (图 7a), 超过了强对流临界值 $SI \leq 0$ (发生强对流 SI 指数的指标^[23]); 6 日 20 时, 高原上 SI 指数的值迅速增大, 中心值为 10, 武威市 SI 指数也随之增大, 中心值为 -1。

5 日 20 时 K 指数场, 青藏高原 K 指数较小, 武威市 K 指数也较小, 在 22 ~ 28 °C 之间; 6 日 08 时, 高原上 K 指数增大, 武威市 K 指数也明显增大, 中心值达 40 °C (发生强对流的 K 指数指标温度为 35 °C^[24]) (图 7b); 6 日 20 时, 武威市 K 指数减小到 36 °C。说明湿层厚度大, 层结极不稳定, 有利于对流天气的发展和强降雨天气的形成。

4 云图演变

6 日 03:30 FY-2D 红外卫星云图上, 在青海湖的西南部有一块中尺度对流云团生成, 并向东北方向移动, 在移动过程中强烈发展, 05:00 其前锋到达

武威市的南部, 南部古浪开始出现降雨, 到了 09:30 青海湖的西南部又有一块中尺度对流云团生成发展, 其前一个对流云团已占据了整个武威市上空 (图 8a), 且发展非常强盛, 其中心 TBB (云顶亮温) 值为 -75 °C, 在武威市上空持续时间约 4 h 左右, 受该对流云团的影响, 09 ~ 12 时, 古浪测站降雨量为 24.4 mm, 凉州测站降雨量 8.9 mm, 其周边的区域站降雨量级也较大, 12 时后该对流云团减弱北上。后一个对流云团在东北移动过程中发展加强, 到了 13:30, 该对流云团北移至武威市上空 (图 8b), 发展比较强盛, 其中心 TBB (云顶亮温) 值为 -65 °C, 在武威市上空持续时间 3 h 左右, 受该对流云团影响, 13 ~ 16 时, 古浪测站降雨量 7.7 mm, 凉州测站降雨量 8.2 mm, 之后暴雨云团移出武威市, 降雨量级迅速减小。2 个暴雨云团共造成 3 个站点出现大到暴雨, 25 个站点出现大雨。由此可知, 这次大到暴雨主要由高原上青海湖西南部生成的 2 个对流云团强烈发展并北上造成。

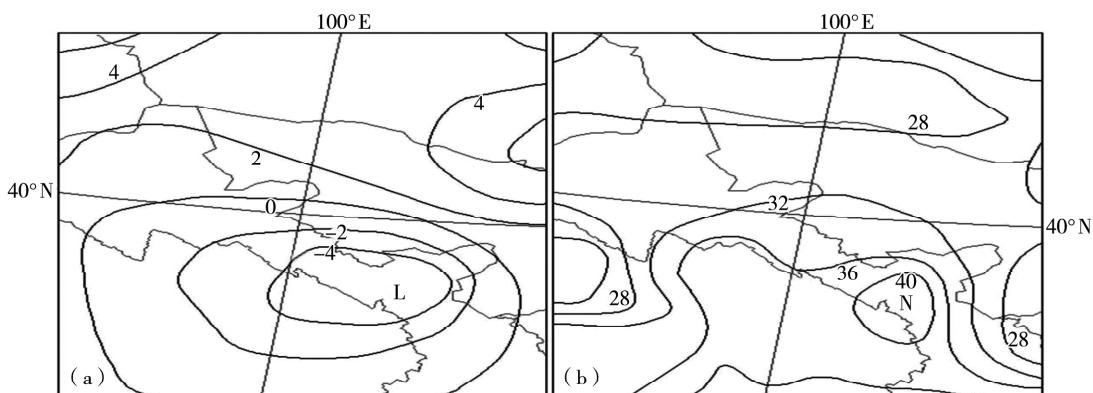


图 7 2013 年 8 月 6 日 08 时 SI 指数场(a)和 K 指数场(b)(单位: °C)

Fig. 7 The SI index (a) and K index field (b) at 08:00 on August 6, 2013 (Unit: °C)

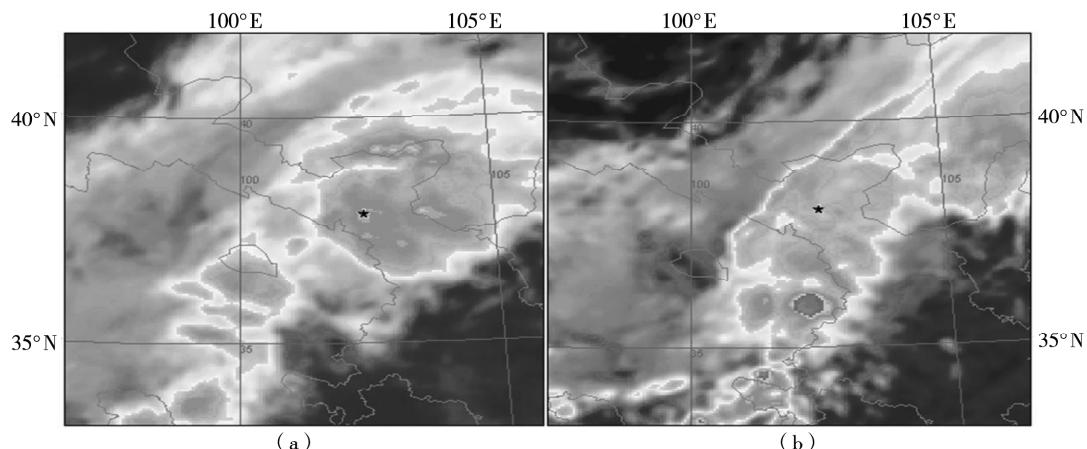


图 8 2013 年 8 月 6 日 09:30(a) 和 13:30(b) FY-2D 红外卫星云图 (★为强对流云团)

Fig. 8 FY-2D infrared satellite cloud images at 09:30 (a) and 13:30 (b) on August 6, 2013

(★ for strong convective clouds)

5 小结

(1)本次局地大到暴雨过程降雨分布较均匀、雨强大、范围广。没有造成经济损失和人员伤亡,且有效缓解了武威市的严重干旱,对生态环境改善、大秋作物生长和水库蓄水极为有利。

(2)500 hPa 的低压槽东移南压且发展是这次大到暴雨的大尺度环流背景;700 hPa 切变线是大到暴雨发生的触发机制,偏东南气流的建立和发展是这次大到暴雨的主要水汽通道。冷锋后部的冷空气楔入暖空气中,触发了强降雨天气;气象要素的剧烈变化是对流天气能量的释放过程。

(3)较大的湿度和较厚的湿层以及中低层水汽辐合为这次大到暴雨提供了充沛的水汽条件。高层辐散低层辐合是上升气流形成和发展的有利因素,高层强烈的上升气流将低层暖湿空气不断地向高空输送是这次大到暴雨的动力条件。高低层假相当位温高能舌的重叠、较大的 K 指数和较小的 SI 指数是这次大到暴雨发生和发展的不稳定条件。

(4)中尺度对流云团的生成及强烈发展是这次降雨量级较大的直接原因。

参考文献:

- [1] 陶诗言,等.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.225.
- [2] 西北暴雨编写组.西北暴雨[M].北京:气象出版社,1992.91 - 102.
- [3] 白肇烨,许国昌,孙学筠,等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1991.202 - 254.
- [4] 王劲松,李耀辉,康风琴,等.西北区东部一次暴雨的数值模拟实验[J].高原气象,2002,21(3):258 - 266.
- [5] 陈添宇,陈乾,付双喜,等.西北地区东部一次持续性暴雨的成因分析[J].气象科学,2009,29(1):115 - 120.
- [6] 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.
- [7] 王毅荣.中国黄土高原地区大雨频次演变特征[J].灾害学,2005,20(1):81 - 84,90.
- [8] 王宝鉴,李栋梁,黄玉霞,等.东亚夏季风异常与西北东部汛期降水的关系分析[J].冰川冻土,2004,26(5):563 - 568.
- [9] 李江萍,孙国武,王式功.青藏高原东北侧暴雨等熵位涡分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2006(1):1 - 5.
- [10] 樊晓春,王若升,王丽娜,等.“7·23”甘肃东部罕见大暴雨诊断分析[A].张强,白虎志,王强.青藏高原东北坡强降水论文集[C].北京:气象出版社,2012.70 - 77.
- [11] 杨晓玲,丁文魁,殷玉春.2012 年 7 月 29 日武威市大到暴雨天气过程分析[J].干旱区研究,2013,30(5):789 - 795.
- [12] 刘洪兰,张强,刘德菊,等.河西走廊中部一次暴雨过程的天气学诊断[J].干旱气象,2014,32(2):263 - 269.
- [13] 张之贤,张强,赵庆云,等.青藏高原东北边缘短时强降水及其雷达回波特征和降水反演[A].张强,白虎志,王强.青藏高原东北坡强降水论文集[C].北京:气象出版社,2012.52 - 61.
- [14] 李文莉,王宝鉴,吉惠敏,等.河西干旱区短时强降水过程中的尺度分析[J].干旱气象,2013,31(2):318 - 326.
- [15] 祝小梅.伊犁一次区域性暴雨分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(2):49 - 52.
- [16] 赵克明,朱雯娜,黄海波,等.地基微波辐射计对乌鲁木齐暴雨天气过程的观测分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(3):45 - 49.
- [17] 任丽,矫玲玲,张桂华.2009 年 3 次暴雪过程螺旋度分布特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(3):21 - 24.
- [18] 杜继稳,李明媚,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.
- [19] 寿绍文,励申申,王善华,等.天气学分析[M].北京:气象出版社,2002.148 - 181.
- [20] 王志超,于雷,黄鹤,等.2010 年 8 月河北一次暴雨的综合诊断[J].干旱气象,2012,30(1):81 - 87.
- [21] 滕水昌,殷玉春.河西走廊一次大雨天气诊断分析[J].干旱气象,2010,28(1):81 - 86.
- [22] 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,1992.484 - 519.
- [23] 谢梦莉.江西“98.6”连续的暴雨过程的 θ_{se} 场特征[J].气象,1999,25(9):49 - 51.
- [24] 章国材,邓北胜.卫星气象数据广播接收系统培训教材[M].北京:气象出版社,2001.145 - 152.

Analysis of a Heavy Rainfall Process in Wuwei of Gansu in 2013

ZHAO Dongxu¹, YANG Xiaoling¹, ZHOU Hua², LIU Rong³

(1. Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei 733099, China;
 2. Gulang Meteorological Station of Gansu Province, Gulang 733100, China;
 3. Minqin Meteorological Station of Gansu Province, Minqin 733300, China)

Abstract: Based on the conventional weather charts, FY-2D satellite images, surface meteorological data, physical quantity field and NCEP reanalysis data, a heavy rainfall process which occurred on August 6, 2013 in Wuwei of Gansu Province was systematically diagnosed. The results show that the heavy rainfall was caused by interaction of multiple factors under a certain large-scale circulation background. Dramatic change of surface meteorological factors was an energy release process of strong convection weather. Local high humidity and moisture convergence provided an abundant moisture source. High-level divergence, low-level convergence and strong rising motion were the dynamic conditions. Strong unstable energy and unstable stratification were the necessary conditions of enhancing the convection enhancement and rainfall intensity increase. Development and strengthening of convective cloud clusters resulted in heavy rainfall process.

Key words: heavy rainfall; circulation situation; physical quantity filed; diagnosis analysis; convective cloud clusters