

河西走廊一次突发性暴雨天气的诊断分析

滕水昌¹, 渠永兴², 王 坚³, 李伯文¹, 张 弢¹, 王荣哲¹

(1. 甘肃省永昌县气象局, 甘肃 永昌 737200; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;
3. 甘肃省张掖市气象局, 甘肃 张掖 734000)

摘 要:对 2006 年 7 月 14 日发生在甘肃省永昌县南部山区的局地强暴雨从天气学、物理量场、水汽条件、降水强度、卫星和雷达特征等方面进行了综合分析, 发现 500 hPa 气旋式风切变是局地强降水形成的主要形势诱发因子, 风的垂直切变为上升运动的维持提供了有利条件, 有利于对流的产生和发展; 由涡旋云系外部气流引发的对流单体, 造成了这次局地强对流降水。同时发现高能区和 Si 场的分析对强对流天气的预测有良好的指示作用。

关键词:暴雨; 分析; 甘肃永昌

中图分类号: P458.1⁺21.1

文献标识码: A

引 言

局地暴雨常常引起洪涝灾害, 对基本设施和人民生命财产造成严重损失。2006 年 7 月 14 日 20 时 30 分到 21 时 08 分发生在永昌县南部山区的局地强对流暴雨造成该县南坝乡和其它 14 个村的 7 200 余人受灾, 死亡 2 人, 房屋、水渠、防洪工程等基础设施受损, 农作物成灾面积 867 hm², 共造成直接经济损失 5 714.1 万元。本文对造成这次暴雨的天气影响系统、热力和动力场等特征进行了分析, 发现风的垂直切变形势因子、高原涡旋云系北涌引发的对流单体, 造成了局地强对流降水。

1 降水强度估算

根据水文相关资料, 这次暴雨具有降水异常集中和突发性强的特点, 持续近 1 h, 十几 min 平地积水达 12 cm, 降水量在 30 mm 左右, 洪水流量约为 100 m³/s。本文用公式 $\bar{w} = Ig/q_s$, 结合 14 日 20 时本站的相关要素 (\bar{w} : 整层 700 hPa 平均垂直速度, $\bar{w} = -20$ hPa/s, I : 降水强度, q_s : 地面饱和比湿, $q_s = 622e/p - 173.82$ g/kg, g : 重力加速度) 近似地估算出 20~21 时 1 h 降水强度约为 35.5 mm (注: 南坝乡距本站约 12 km)。

2 天气形势分析

2.1 高空天气形势

7 月 14 日 08:00 (北京时间, 下同), 高空 500 hPa 天气图上永昌县处于副热带高压西侧边缘, 而且在马鬃山、额济纳旗与张掖、酒泉之间存在明显的小范围风切变, 20:00 这一切变已位于张掖、民勤、巴音毛道、额济纳旗这一区域, 副高进一步西伸, 西南气流发展, 西南风风速达到了 4~8 m/s (图 1, 图 2); 在 08:00 高空 700 hPa 整个河西走廊被偏东风控制, 风速在 6~16 m/s 之间, 在 500~700 hPa 上下层之间风向相反, 存在风的垂直切变 (图 2)。风向的垂直切变有利于高空辐散, 同时风向的强切变形成了高层冷平流、低层暖平流的形势, 有利于对流不稳定层结的形成和维持, 有利于垂直运动和起始对流的发展, 同时也可影响云体的传播方向^[1-2]。7 月 14 日 20 时 700 hPa 高原产生一低涡, 涡前有一暖湿切变线伸至祁连山一带, 切变线位置略偏南, 低涡向北方移动, 河西中西部受其影响, 永昌县南部山区处在低涡中心的东南 (图 2)。这在 850 hPa 也有明显的反映, 这种形势有利于低层辐合上升, 对形成降水是非常有利的。

2.2 地面形势

从 7 月 14 日 17:00 的地面天气图看, 在西宁、

收稿日期: 2007 - 04 - 17; 改回日期: 2007 - 07 - 15

基金项目: 国家科技攻关项目“祁连山空中水资源开发利用研究”课题资助

作者简介: 滕水昌 (1966 -), 男, 甘肃武威人, 工程师, 主要从事天气预报分析研究。E-mail: yctsc@126.com

刚噶、肃南有一气旋生成并发展,这个气旋在高空西南急流的引导下沿辐合线向东北方向移动,14日20:00(图3a),这个气旋影响到永昌县南部的祁连山区诱发对流强降水。

雨势在20:30加大,到21:00逐渐减小,15日

02:00,气旋继续东移,中心已位于乌鞘岭,永昌县降水结束。

通过对地面图的分析发现,这次过程中强降水发生时永昌县处在地面气旋控制下的地面辐合线附近。

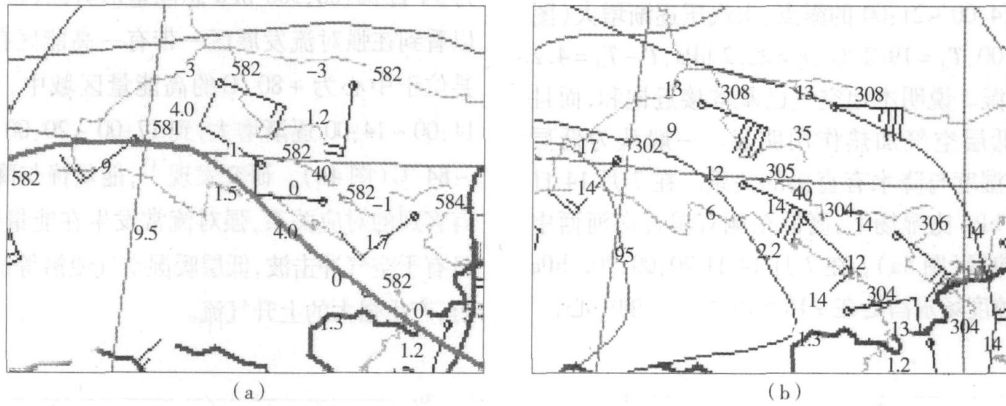


图1 2006年7月14日08时500 hPa(a)、700 hPa(b)天气形势图

Fig.1 The synoptic chart for 500 hPa (a) and 700 hPa (b) at 08:00 on July 14, 2006

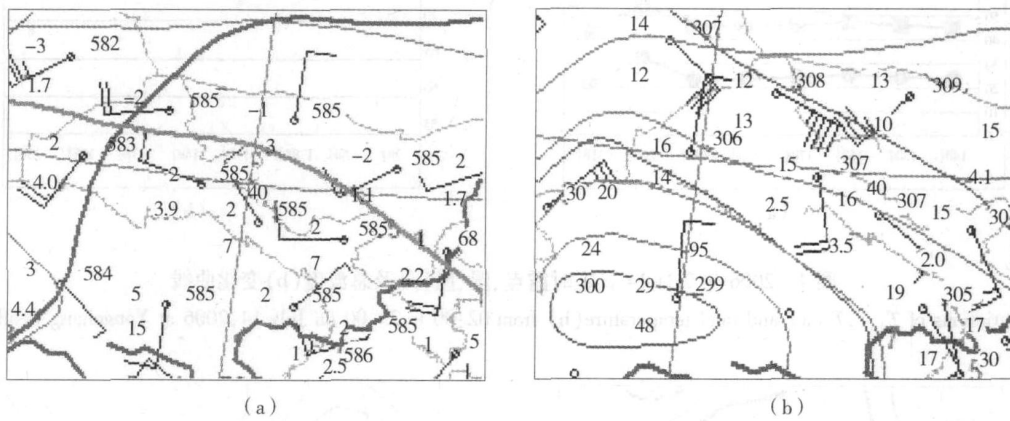


图2 2006年7月14日20时500 hPa(a)、700 hPa(b)天气形势图

Fig.2 The synoptic chart for 500 hPa (a) and 700 hPa (b) at 20:00 on July 14, 2006

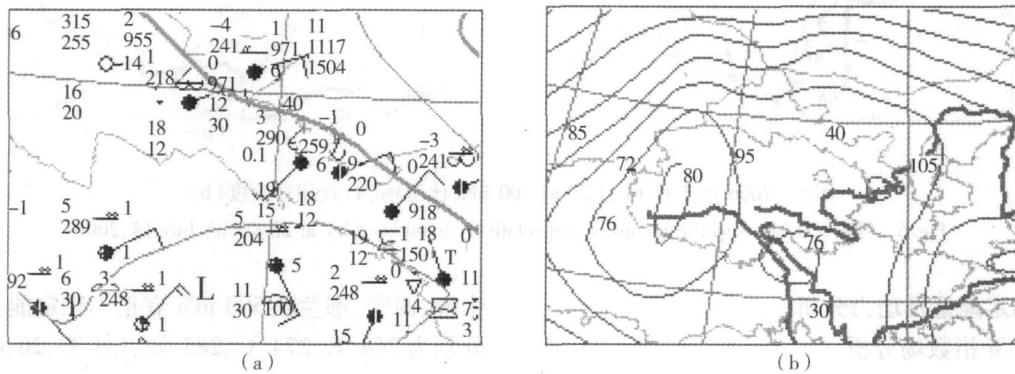


图3 2006年7月14日20时地面图(a)及500 hPa总能量场(b)

Fig.3 Ground situation (a) and 500 hPa total energy field (b) at 20:00 on July 14, 2006

3 物理量场和水汽条件分析

3.1 水汽条件和总温度分析

水汽是形成降水的必要条件,通过对 14日 20:00 700 hPa $T - T_d$ 场的分析,河西地区为一湿区。永昌气象站 14:00~21:00的露点、水汽压逐渐增大(图 4a),到 20:00, $T_d = 19.2$, $e = 22.2$ hPa, $T - T_d = 4.2$,高温高湿。说明本地空气已基本接近饱和,而且下垫面对低层空气加热作用明显。一般认为低层 700 hPa的湿度与降水有直接的关系。在 7月 14日 20:00, 700 hPa比湿场上,高原东侧有湿舌向河西中东部向北伸展(图 5a),在 7月 14日 20:00, 700 hPa水汽通量散度场永昌处在 $-10 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的中心,

说明在这一区域存在水汽的水平辐合,而且 700 hPa相对湿度场表现为一高湿区(图 5b),高低空水汽特别充沛,这种高温高湿状态为强对流天气的发展储存了必要的条件,而高湿区一般对应着高能区。在 7月 14日 20:00, 500 hPa总能量形势图(图 3b)上,可以看到在强对流发展区一带有一高能区存在,永昌县位于中心为 +80 的高能量区域中。总温度从 11:00~14:00逐渐增大,到 17:00~20:00增加到 85~84 (图 4b)。研究发现^[3],能量锋与降水强度具有客观的对应关系,强对流常发生在能量锋北侧,一旦有干空气冲击波,低层暖湿空气便沿等能面急剧爬行,产生强大的上升气流。

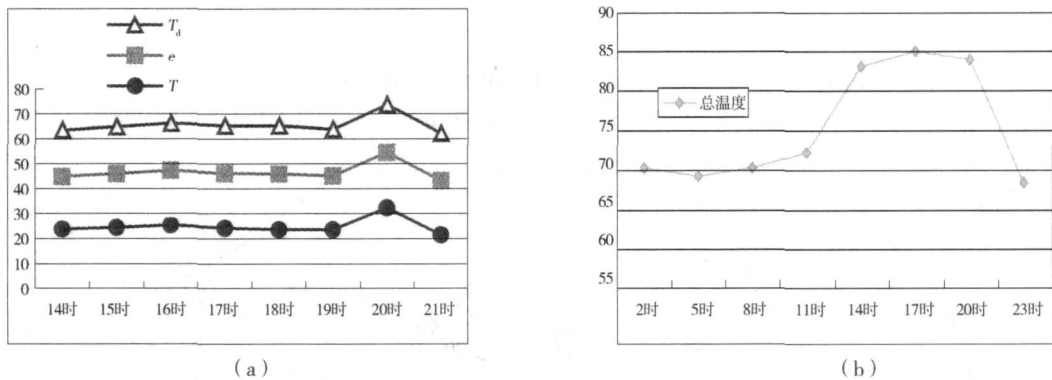


图 4 2006年 7月 14日定时露点、湿、温 (a)及总温度 (b)变化曲线

Fig 4 Variations of T_d, e, T (a) and total temperature (b) from 02:00 to 23:00 on July 14, 2006 at Yongchang weather station

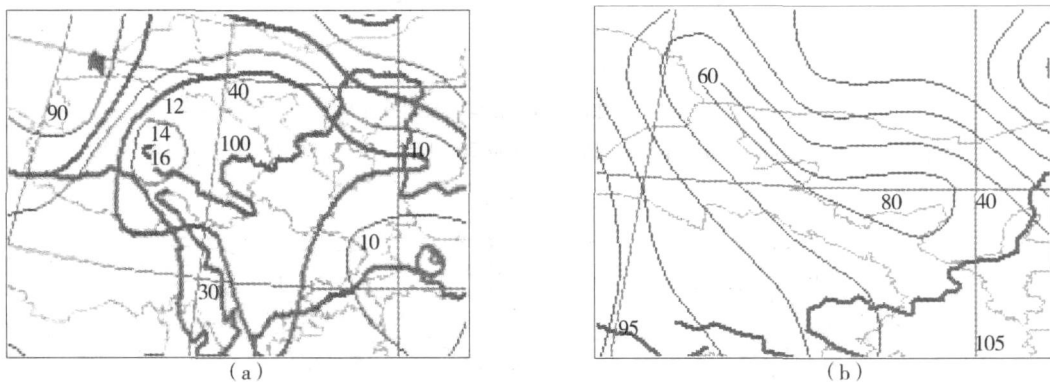


图 5 2006年 7月 14日 20时 700 hPa比湿场 (a)及相对湿度 (b)

Fig 5 The 700 hPa specific humidity and relatively humidity (b) at 20:00 on July 14, 2006

3.2 不稳定能量及动力分析

3.2.1 K, S 指数场分析

选取酒泉、张掖、民勤、西宁、都兰 7月 14日 08:00、20:00的 $T - LnP$ 图进行分析得到,08:00酒泉、

张掖、西宁、都兰在 500 hPa有正不稳定能量, K 指数分别为 264、274、283、333, 20:00上升为 280、292、288、360。08:00民勤也存在较大的不稳定能量,沙氏指数为 -1.0,这说明在

08:00~20:00河西中部及祁连山中部一带有一高能区存在而且能量积累非常迅速。在14日08:00的 K 指数场中,永昌位于+40的能量中心(图6a),说明该区域中低层大气层结很不稳定且很潮湿, K 值越大,气层越不稳定^[1]。在14日08:00的沙氏指数场上永昌处于中心为-4的不稳定层结中心区域中(图6b), $Si < 0$ 表示气层不稳定,负值越

大,气层越不稳定^[1],根据国内外以往的统计分析^[4],当 $-6 < Si < -3$ 就有可能产生较强雷暴。上述能量分析场预示该区域有不稳定能量的储存,使雷雨天气发生的可能性增大,同时在 $T-LnP$ 图上还可以清楚地看到在500~700 hPa高低空明显的风向切变,这种风场形势对形成对流降水是非常有利的。

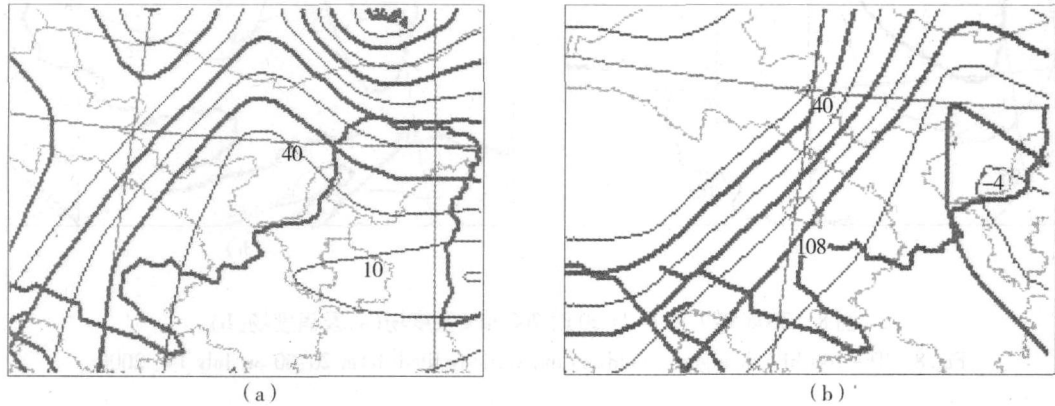


图6 2006年7月14日20时500 hPa K 指数场(a) Si 场(b)

Fig 6 The 500 hPa K -index (a) and Showalter-index field (b) at 20:00 July 14, 2006

3.2.2 垂直速度分析

对14日20:00的500 hPa垂直速度分析表明,有一中心值 $\bar{w} = -60 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升气流区位于永昌上空(图7a),700 hPa平均垂直速度约为 $-20 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,这对对流天气的产生起了关键的作用,而且对低层水汽的垂直输送起了非常重要的作用,有利于不稳定能量的释放和强对流的产生。

3.2.3 假相当位温 (θ_e)

假相当位温反映了大气中显热和潜热即能量分布的多少^[5], θ_e 场的高值区代表了高能区,在14日20:00的500 hPa假相当位温场上(图7b),高原有一个92的高能区和总温度高能区基本对应,并向东北扩展,永昌处在80的高能控制区,这对于对流的发展是非常有利的。

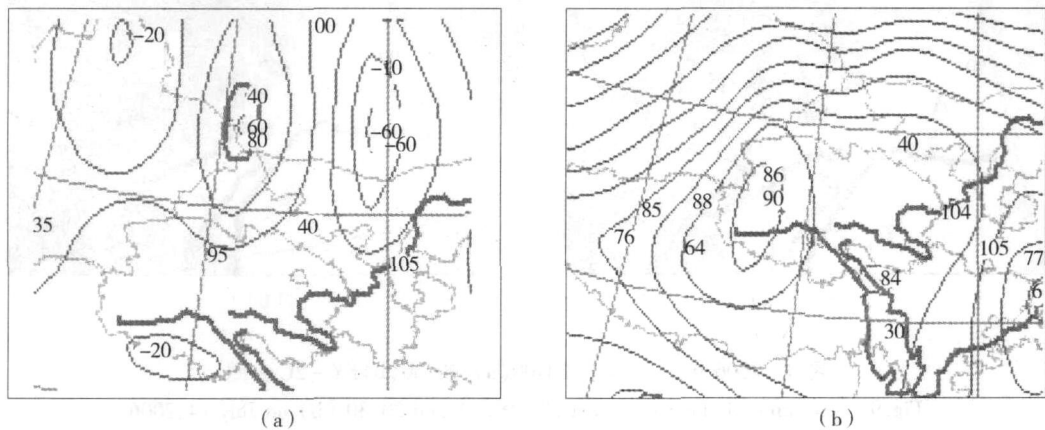


图7 2006年7月14日20时500 hPa垂直速度场(a)及假相当位温场(b)

Fig 7 The 500 hPa vertical velocity field (a) and θ_e field (b)

at 20:00 on July 14, 2006

3.2.3 流场分析

在 14日 20:00 的 700 hPa散度分布场上,永昌在中心为 $-30 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的辐合中心 (图 8a),与垂直速度的分布配合较好。正涡度中心为 $40 \times$

$10^{-5} \cdot s^{-1}$,位于敦煌一带的正涡度平流向东移动,促使地面低压发展 (图 8b),这种配置会使垂直上升运动加强,是强对流形成的动力因子,与暴雨区有较好的对应关系^[6]。

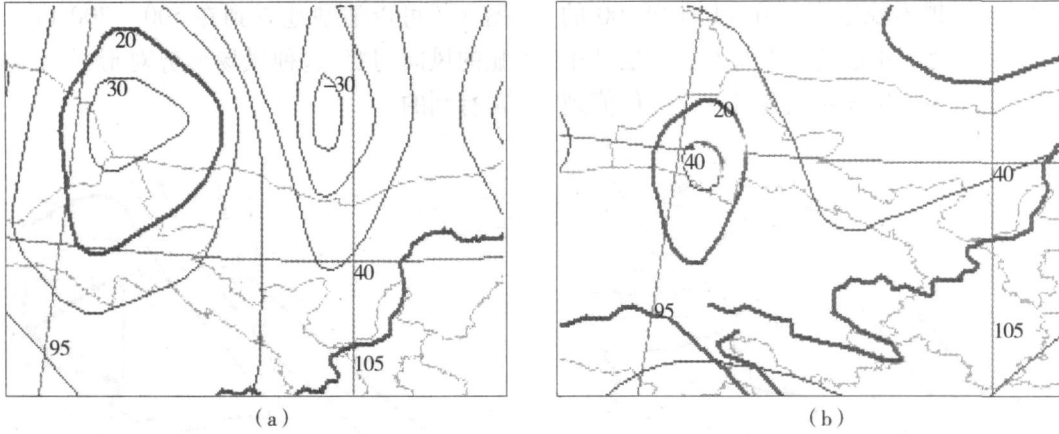


图 8 2006年 7月 14日 20时 700 hPa散度场 (a)及涡度场 (b)
Fig 8 The 700 hPa divergence field (a) and vorticity field (b) at 20:00 on July 14, 2006

4 对流云团和雷达回波特征

根据 17:00 ~ 23:00 的 FY - 2C 红外监测图显示,高原被一较强的中尺度气旋性涡旋云系控制,该云团从 17时生成到发展成熟历时近 6 h,且在不断向东北方推进,在 20 ~ 22时表现得最为强盛。在 20时云图 (图 9a)中 A 处为涡旋云系,云顶温度 T_{BB} 在

- 30 ~ - 50 之间,持续时间约 3 h,云团边缘 T_{BB} 等值线梯度很大。B 处为活动的对流单体,永昌县南部在 20:30 受到其向北扩展的约 3 个外流点状对流单体 C 的影响 (图 9b)。这种影响在 19 ~ 20 时的张掖多普勒雷达上也有显著的表现特点,在永昌的南坝一带有一个强度在 35 ~ 40 dBZ 强回波单体 (图略),使该区域出现阵性强降水。

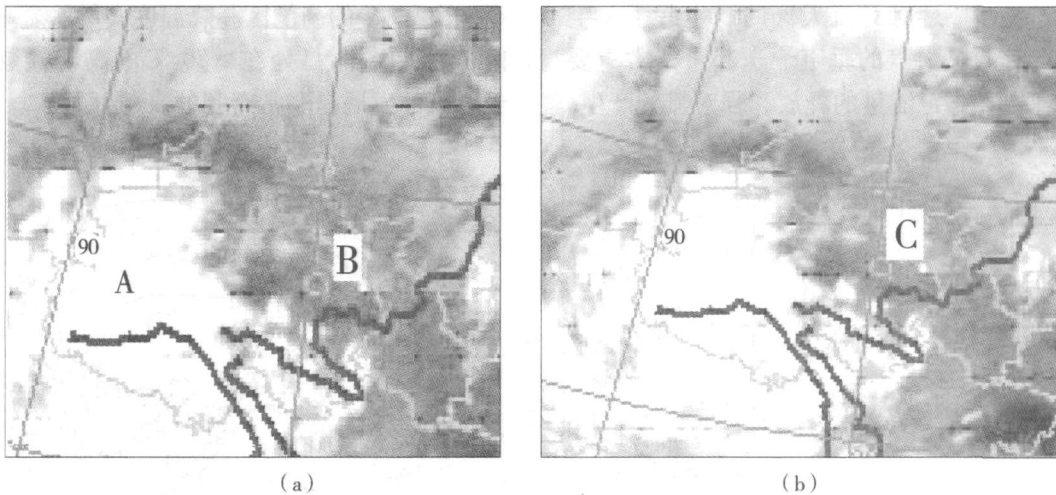


图 9 2006年 7月 14日 20:00 (a)、20:30 (b) FY - 2C 云图
Fig 9 The infrared cloud images at 20:00 (a) and 20:30 (b) on July 14, 2006

5 地形影响

永昌县南坝乡位于祁连山北麓,由于山脉近乎

西南走向,使高层的弱冷空气与低层的暖湿气流在各山脉中形成扰动,使局部对流发展,造成大降水。而且该山区植被稀少,多沙砾岩,强降水很容易在

短时间内形成径流,向下汇流,而且在前期(6~13日)该县多雷雨天气,降水量累积达 21.3 mm,山地土壤水分含量较大,土质变得松软。当本地再次出现暴雨时土壤吸水力降低,从而使雨水的径流量增大,雨水顺山坡急速向山下涌来,局部地方有泥水裹着土石向山下流去造成自然灾害。通过资料统计,历史上该地洪水成灾,如 1998年 8月 15日和 2000年 6月 23日发生的洪水成灾都有与此相似的天气背景。

6 结 论

(1) 500 hPa风的气旋式切变辐合是局地强降雨形成的主要形势诱发因子。这次过程的主导系统是 700 hPa的低涡产生了这次暴雨过程所必须的上升运动,副高西侧的西南气流为这次降水提供了丰富的水汽条件。

(2) 风的垂直切变为上升运动的维护和的不稳定能量的释放提供了有利条件,这种形势有利于对流

的产生和发展。

(3) 由涡旋云系外部气流引发的对流单体,有可能产生局地强对流降水。

(4) 对高能区和 S 场的分析对强对流天气的预测有良好的指示。

(5) 正涡度平流由低层至高层的增强和移动,是促使地面低压和对流发展的重要动力因子。

参考文献:

- [1] 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. 462 - 634.
- [2] 张元箴. 天气学教程 [M]. 北京:气象出版社. 1992. 72 - 83.
- [3] 雷雨顺. 能量天气学 [M]. 北京:气象出版社. 1986. 88 - 96.
- [4] 省地气象台短期预报岗位培训教材 [M]. 北京:气象出版社, 1998. 225 - 226.
- [5] 白肇焯,徐国昌,孙学筠,等. 中国西北天气 [M]. 北京:气象出版社, 1988. 299 - 300.
- [6] 寿绍文,励申申,王善华,等. 天气学分析 [M]. 北京:气象出版社, 2002. 23 - 96.

Synoptic Diagnosis of a Sudden Rainstorm Process in Hexi Corridor

TENG Shuichang¹, QU Yongxing², WANG Jian³, LI Bowen¹, ZHANG Tao¹, WANG Rongzhe¹

(1. Yongchang Meteorological Station of Gansu Province, Yongchang 737200, China;

2. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of CMA, Lanzhou 730020, China;

3. Zhangye Meteorological Bureau of Gansu Province, Zhangye 734000, China)

Abstract: A local heavy rain occurred in the southern mountainous region of Yongchang County on July 14, 2006 was analyzed synthetically from several aspects of physical quantities, moisture condition, precipitation intensity, satellite images and radar features. Results show that the wind shear convergence at the level of 500 hPa is main factor resulting in this weather event, and the wind vertical shear provides favorable conditions to ascent development of airflow; the convective cells caused by the external flow of vortex cloud system bring on this strong convective precipitation. Meanwhile, we found that analysis on energy and Showalter index fields could be a good indication to strong convective weather forecast.

Key words: Yongchang; heavy rain; analysis