

Analysis of Rainstorm Which Caused Severe Mountain Torrent Geology Disaster in Baiyin of Gansu Province

Fangrong Wu, Quan Xia, Shaoyong Chen, Xiaoxia Li

Meteorological Bureau of Baiyin, Baiyin Gansu
Email: wcr-691121@163.com

Received: May 1st, 2016; accepted: May 16th, 2016; published: May 19th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

Based on the data of routine meteorological observation, hourly precipitation of automatic weather station and NCEP reanalysis data, the local rainstorm in Baiyin of Gansu province on 28 May 2011 was analyzed. The results show that this rainstorm occurred on large scale circulation background of the Siberia cold vortex moved eastward; the dry cold air which constantly split from the bottom of the cold vortex converged with southwest airflow of warm; the atmospheric instability increased that triggered convective weather. The meso-scale influential systems of this rainstorm were vortex and shear line of 700 hPa and saddle type of 850 hPa. This circulation pattern was beneficial to strengthen ascending movement and trigger off instability energy releasing. The allocation at different heights and temporal and spatial variation of physical field was consistent with the rainstorm. Surface convergence line was one of triggering factors contributed to convection. The convection cells were easily formed near the joint of surface convergence line and dry line. The characteristics of rainstorm which caused mountain torrent geology disaster were high intensity and short duration. There was a meso- β -scale convective cloud cluster in satellite cloud image. Its horizontal scale was 200 - 400 km and the minimum of TBB was -80°C . The mountain torrent occurred in the geological conditions of vulnerable areas, different geological conditions can form different disasters.

Keywords

Mountain Torrent, Rainstorm, Mesoscale System, Physical Field, Diagnostic Analysis

引发甘肃白银市严重山洪地质灾害的暴雨过程分析

吴芙蓉, 夏 权, 陈少勇, 李晓霞

甘肃省白银市气象局, 甘肃 白银
Email: wcr-691121@163.com

收稿日期: 2016年5月1日; 录用日期: 2016年5月16日; 发布日期: 2016年5月19日

摘 要

利用常规气象观测资料、自动站逐小时雨量、物理量、NCEP再分析资料和卫星云图等资料,对2011年5月28日发生在甘肃白银市的局地暴雨引发山洪天气过程进行诊断分析。结果表明: 1) 这次暴雨天气过程发生在西伯利亚冷涡东移的大尺度环流背景下,冷涡底部不断有分裂的冷槽携带干冷空气和西太平洋副热带高压西北侧的西南暖湿气流交汇,大气不稳定性增大,触发对流产生。2) 700 hpa低涡、切变线和850 hpa鞍形场环流配置,有利于耦合导致上升运动加强,触发不稳定能量的释放,成为暴雨天气的中尺度影响系统。3) 散度场、涡度场、垂直速度场等物理量场的高低空配置和时空变化与暴雨过程的时空变化高度吻合。4) 地面辐合线或干线是触发强对流天气的因子之一,对流单体一般生成于地面辐合线附近,在地面辐合线与干线结合处易于对流单体或云团的新生和发展。5) 引发山洪的暴雨强度大,持续时间短,在卫星云图上表现为一个水平尺度200~400 km,云顶亮温最低为-80℃的中 β 尺度对流云团。6) 山洪发生在地质条件脆弱区,不同的地质状况对应不同的灾害。

关键词

山洪, 暴雨, 中尺度系统, 物理量场, 诊断分析

1. 引言

暴雨是我国重要的灾害性天气之一,由暴雨引发的洪涝灾害,每年都造成人员的严重伤亡和财产的巨大损失,因此暴雨天气系统一直是国内外气象专家研究的重点。西北地区是我国年降水量最少的地区,绝大部分地方年平均暴雨日数都少于一次,虽然次数极少,但是给工农业生产和人民生命财产造成的危害极大。例如1973年4月27日,甘肃省庄浪县的大暴雨天气,冲垮水库两座,倒塌房屋3000多间,淹死662人,伤72人,冲毁农田4467公顷;2002年6月8日,陕西省佛坪县,暴雨导致山洪爆发造成450人失踪死亡以及数亿元的财产损失。

对于暴雨天气,国内许多著名的气象专家,从各个方面进行了诸多卓有成效的探讨研究,得到了许多有价值的理论成果。陶诗言先生[1]系统研究了中国暴雨的活动规律、机制和预报,领导编著的《中国之暴雨》一书,对中国暴雨气候特征、暴雨形成的条件、暴雨的预报问题作出了系统概括;孙淑清和陈忠明等[2]-[5]从辐合、辐散增长方面揭示了暴雨发生和持续的动力机制,并在认识散度演化的机制方面不断深化和拓展;甘肃省的一些气象专家,针对省内发生的暴雨天气,也做了大量的分析研究[6]-[10],胡钰玲等[11]从环流形势、水汽条件、动力条件、位势不稳定条件等方面对西北干旱区罕见区域性大暴雨天

气过程分析指出, 低层切变线和其上空辐合线叠加, 导致不稳定能量释放, 诱发大暴雨天气发生, 暴雨落区和强度变化与 850 hpa 能量锋区有很好的对应关系, 暴雨出现在陡峭和密集区域, 当低空暖湿气流增强时, 等值线梯度加大且随高度略向北倾斜, 干冷空气和暖湿空气都强时, 将形成梯度高值区。王伏村等[12]对 2010 年 7 月 23 日发生在西北地区东部的大暴雨分析认为, 低涡切变线在中低层形成强辐合、对流层高层南压高压东部北风急流出口区左侧形成强辐散的环流配置, 在暴雨区上空易形成强大的上升运动, 使低层的暖湿气流源源不断地向高层输送。

利用常规气象观测资料、自动站逐小时雨量、物理量、NCEP 再分析资料和卫星云图等资料, 对 2011 年 5 月 28 日发生在甘肃白银市的局地暴雨引发山洪天气过程进行诊断分析, 系统总结白银局地暴雨过程的天气系统结构特征及形成机制, 增强对暴雨天气的认识, 旨在为类似暴雨引发山洪预报预警提供有力的依据。

2. 地质地貌及天气实况

山洪是指由于暴雨、冰雪融化或拦洪设施溃决等原因, 在山区(包括山地、丘陵、岗地)沿河流溪沟形成的暴涨暴落的洪水及伴随发生的滑坡、崩塌、泥石流的总称。暴雨是山洪暴发必不可少的气象因素, 而有利的地形则是山洪发生的必要条件。白银市(图 1)属腾格里沙漠和祁连山余脉向黄土高原的过渡地带, 而所属平川区境内的屈吴山为祁连山东延余脉, 且为土质地质结构, 呈西北-东南走向, 主峰南沟大顶, 海拔 2858 米, 山势雄伟, 峰峦迭障。平川区的种田乡、复兴乡正好位于屈吴山的东面山脚下, 靖远县的高湾乡、大芦乡则在西面的山脚下。由于特殊的地理位置和复杂的地貌、气候、土壤等因素影响, 使得山的两侧成为山洪的多发地。

2011 年 5 月 28 日午后, 甘肃省白银市出现了局地暴雨天气过程。此次过程时空分布不均, 具有很强的局地性, 降水主要集中在白银市辖区的平川区境内的屈吴山附近, 而其他区域降雨量很小。部分乡镇降水量突破历史同期极值。靖远县的高湾乡、大芦乡, 平川区的种田乡、复兴乡遭受暴雨袭击并引发山洪, 平川区种田乡 16~19 时 3 小时降水量 56.4 毫米, 其中 16~17 时 1 小时降水量达 36.6 毫米; 靖远县高湾乡 16~19 时 3 小时降水量 46.9 毫米, 其中 17~18 时 1 小时降水量达 41.5 毫米, 以上乡镇降水量均突破历史同期极值。暴雨天气致使农田被淹、道路被毁、1 人被水冲亡, 直接经济损失达 2000 万元以上。

3. 环流背景和天气形势演变特征

27 日 08 时(北京时, 以下同) 200 hpa 高空图上, 中亚地区已有冷空气进入, 我国的东北到华南为深厚的低压槽控制, 槽后有明显的西北急流存在, 最大风速 $44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 冷空气沿西北路不断分裂南下, 白银位于急流的左侧。南亚高压在孟加拉湾到青藏高原东部地区上空; 28 日 08 时, 强冷空气主体仍位于巴湖以北, 但高空急流位置逐渐向南压, 冷空气沿河西走廊经过祁连山到达甘肃中部地区。

500 hpa 高空图上, 前期环流形势是副热带高压主体稳定少动, 伊朗高原为高压脊控制, 欧亚中高纬度环流形势为两槽一脊型, 27 日 08 时, 西伯利亚冷涡槽区加深, 底部不断有分裂的冷槽引导干冷空气南下, 与此同时, 西太平洋副热带高压边缘 584 线西伸到云贵高原, 有明显的西南气流将孟加拉湾的大量暖湿空气向甘肃中部地区输送; 28 日 08 时(图 2(a)), 西伯利亚冷涡槽线由西北-东南转为南北走向, 槽底分裂冷槽与高原东移短波槽在西北地区东部上空有叠加趋势, 槽后为西北风的冷平流, 槽前为西南风的暖平流, 冷暖空气在本地区上空交绥, 为暴雨发生提供了有利的大尺度环流条件, 这是西北地区东部暴雨的典型流型; 28 日 20 时, 环流调整, 整个系统向东推进, 本地转为高压脊前的西北气流控制, 降水结束。

中低层 700 hPa 高空图上, 高原东部短波槽活动频繁, 移速快, 27 日 08 时, 新疆北部有明显的冷空

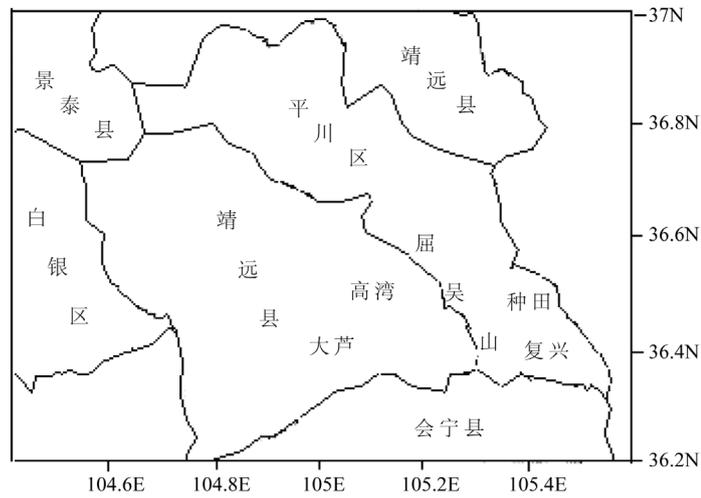
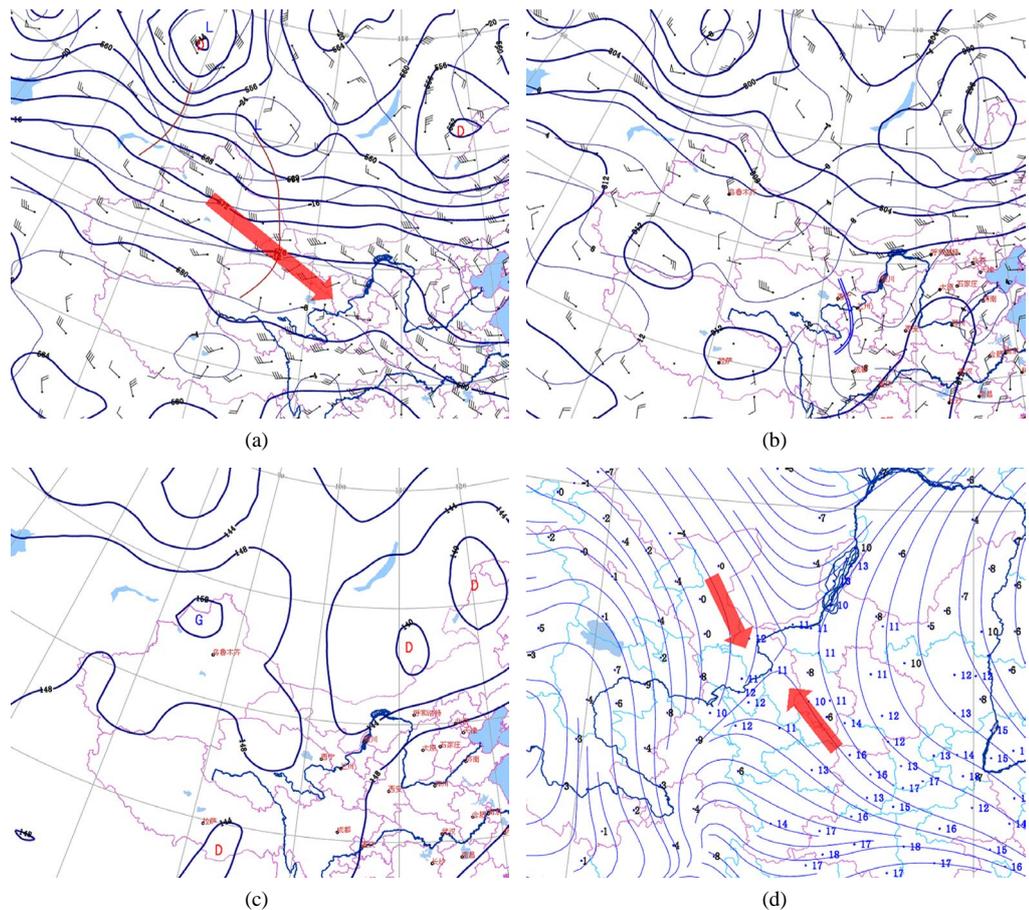


Figure 1. The city and county (district) compartment and diagram of topography distribution of flood-prone area in Baiyin
图 1. 白银市县(区)规划及山洪爆发地区的地形分布示意图



粗实线为高度场, 单位: dagpm; 细实线为温度场, 单位: °C; 长箭头为高空 200 hpa 急流; 短箭头为低空急流

Figure 2. The circulation situation of 500 hpa (a), 700 hpa (b), 850 hpa (c) at 08:00 BT 28 May and surface field (d) at 11:00 BT 28 May
图 2. 5月28日08时500 hpa (a)、700 hpa (b)和850 hpa (c)环流形势及28日11时地面流场、露点、辐合线(d)

气堆积, 新疆和我省的交界处有一东北-西南向的切变线, 河西走廊到高原上有一强大的暖中心, 中心值达 20°C 以上, 并在青海西南部形成一低涡, 有 304 dagpm 的闭合线; 28 日 08 时(图 2(b)), 暖中心迅速减弱, 河西的西部形成了明显的温度槽, 等高线与等温线相交呈垂直状态, 冷平流非常明显, 切变线从甘肃的中西部一直延伸到四川境内呈南北向, 东南侧为较强且宽广的偏西南暖湿气流, 切变线前后的温差达 8°C 以上; 28 日 20 时, 切变线继续向陇东南移, 温度槽也随之东移, 湿度减小, 降雨过程结束。

850 hpa 高空图上, 27 日 08 时, 高原东部处于低压带中, 从孟加拉湾建立了一支西南气流的水汽通道直达本地上空, 28 日 08 时, 该地区形成了明显的鞍形场环流配置, 鞍形场中心位于河套的西南部, 其东南部为强的暖平流, 与 700 hPa 切变线东南侧的偏西南暖湿气流叠加, 高低层正涡度的耦合导致垂直上升运动的增强。

地面形势演变分析, 28 日 08 时, 在内蒙古河套西北部就有一条弱的东西向的地面辐合线或干线存在, 此后该线缓慢向东南移动。11 时, 辐合线或干线移速有所加快, 2 小时超过 1.5 个纬距, 且强度明显加强, 该区域西北风与东南风辐合、干冷空气与暖湿空气辐合, 强降水发生在东南方暖舌区(该区域 $T_d \geq 12^{\circ}\text{C}$)附近。辐合线或干线增加该地区的水汽和能量积聚, 对降水产生和加强起到了重要作用, 是触发强对流天气的因子之一。

4. 物理量场诊断分析

4.1. 水汽条件分析

相对湿度可以较好的反映空气中的水汽含量, 相对湿度越大, 表明大气越接近饱和状态, 水汽越容易凝结产生降水。基于 NCEP 再分析资料, 沿 104.5°E 作相对湿度垂直剖面图(图 3), 通过分析可以看出, 27 日 20 时, 白银市中低层 850~700 hpa 相对湿度只有 30%~40%, 高层 500~200 hpa 相对湿度在 60%~70%, 低层大气偏干, 高层的水汽含量较丰富, 且厚度较厚, 达到了 200 hpa; 28 日 08 时, 随着降水系统发展, 湿区东移, 并且不断向低层扩展, 中低层的湿度快速增加, 从地面到 650 hpa 相对湿度超过 80%; 28 日 14 时, 湿区向东北方向扩伸形成一个湿舌, 750~350 hpa 之间处于湿度中心, 为 80% 以上, 湿度增大, 湿层增厚, 为强降水提供了充足的水汽; 28 日 20 时, 湿区继续向东北方向扩伸, 700 hpa 以上相对湿度仍 $>80\%$, 低层的相对湿度变化不大; 29 日 08 时, 高空槽逐渐东移, 整层相对湿度逐渐减小, 降水结束。

水汽通量散度是表示水汽积聚或流失的一个参量。暴雨的发生不仅要有充沛的水汽, 而且还要有源源不断的水汽输送和累积。一般认为低层 700 hPa 的湿度与降水有直接的关系。通过对 27~28 日不同时间段 700 hPa 水汽通量散度的变化分析发现, 随着降水系统的发生发展, 700 hPa 水汽呈逐渐增加之趋势, 27 日 20 时, 白银市附近的水汽通量散度转为负值, 绝对值较小, 说明此时的辐合运动较弱, 最强中心位于西藏的中南部, 为 $-3.5 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hpa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; 28 日 08 时(图 4), 水汽辐合区向东北扩展, 白银市辐合值增强, 辐合区范围扩大, 强度为 $-1.0 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hpa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; 28 日 20 时, 强水汽辐合区迅速东移, 本地附近转为辐散区。

4.2. 动力条件分析

地形对暴雨的形成, 有不可忽视的作用。当一较强对流系统移到特定的地形时, 这种地形对西北或偏北方侵入的冷空气和东南或偏南移来的暖湿气流有阻挡作用, 在喇叭口汇合后, 产生强烈的上升运动, 当高空西风急流轴引导冷空气叠加到此形势场时, 垂直运动更加剧烈[13]。或者当气流移近山坡, 迎风坡一侧的动力抬升作用也非常明显, 经过一个斜坡抬升后, 对流的强度增加, 上升速度的最大值能增加 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [14]。白银市屈吴山山峰较高且近似喇叭口地形, 当有北方冷空气和西南暖湿气流向喇叭口灌进, 由于地形的收缩, 引起辐合上升运动的加强, 一个较弱的积云经过斜坡阻挡抬升后能发展成比较强的对

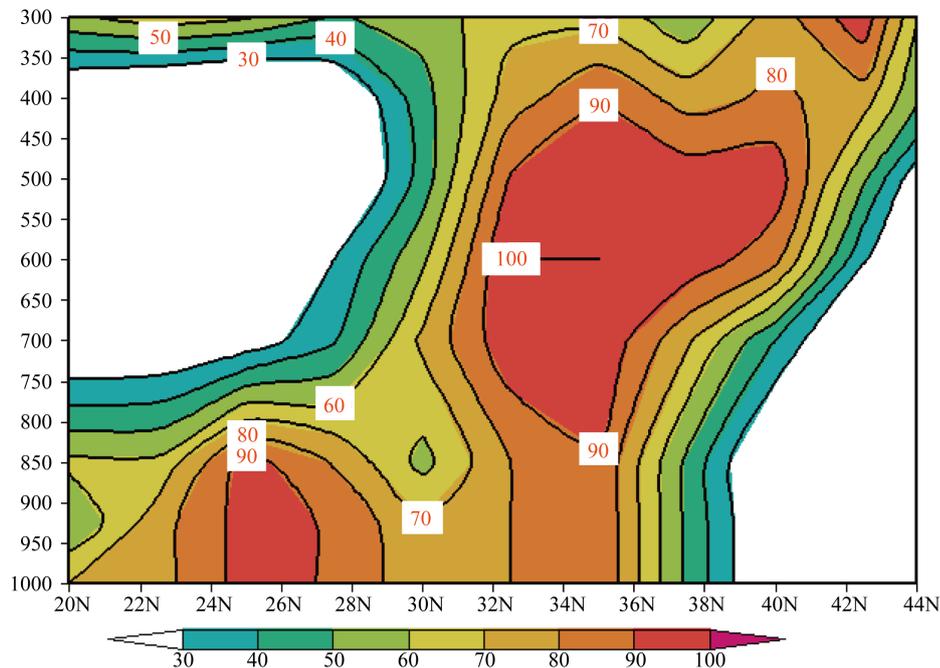


Figure 3. The vertical profiles of relative humidity along 104.5°E at 14:00 BT 28 May (Unit: %)
图 3. 5月28日14时沿 104.5°E 相对湿度垂直剖面图(单位: %)

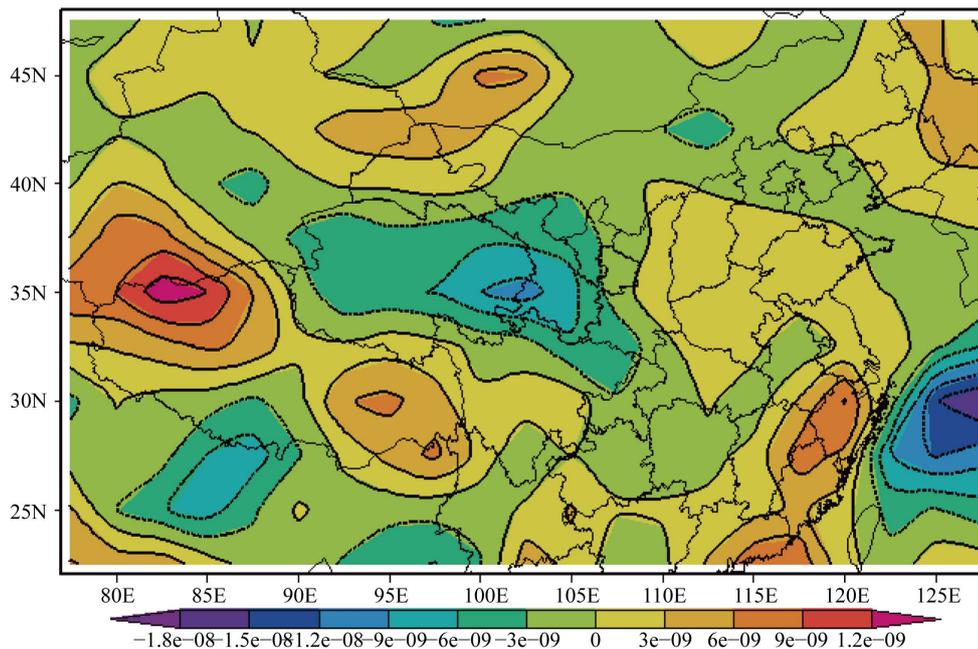


Figure 4. The moisture convergence flux of 700 hPa at 08:00 BT 28 May (Unit: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
图 4. 5月28日08时700水汽通量散度(单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

流云,有利于造成强降水天气。因此,在此次过程中,地形抬升作用的加强可以说是触发了中尺度降水。

涡度平流的输送可判断局地涡度的变化。通过分析各高度层的涡度平流的剖面图(沿东经 104.5)发现,过程前期 27 日 20 时,白银市上空整层的涡度平流较弱,300 hPa 以上为负涡度平流区;28 日 08 时(图 5(a)),负涡度区迅速向东移动,850 hPa 以上已变为正值区,在 250 hPa 为 $21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的高值中心,涡度

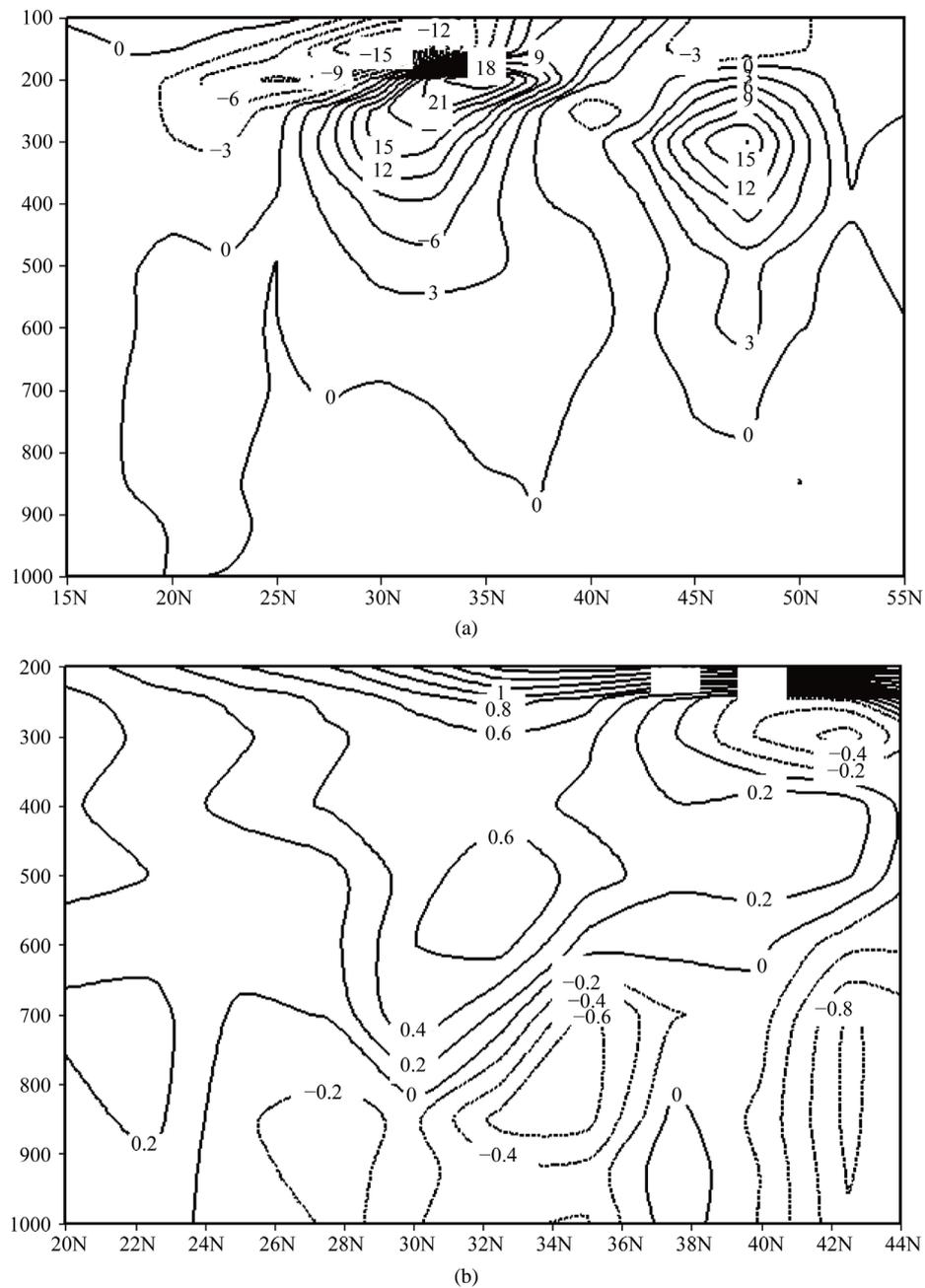


Figure 5. The profiles of vorticity advection (Unit: $10^{-5} \cdot s^{-1}$) and thermal advection (Unit: 10^{-5} K/s) at 08:00 BT 28 May
图 5. 5 月 28 日 08 时沿 104.5°E 涡度平流(a) (单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$) 和温度平流(b) (单位: 10^{-5} K/s) 剖面图

平流从低层向高层增大, 同时高空急流入口区右侧的辐散作用, 使得高层的辐散更加强大, 产生强的垂直上升运动; 28 日 20 时, 随着涡度平流中心后部冷空气的入侵, 正涡度平流带向东移, 从低层向高层逐渐转为负涡度平流。

温度平流可以直接引起某地大气热力结构的变化, 从而改变层结的稳定度。通过分析各高度层次的温度平流的剖面图(沿东经 104.5)发现, 28 日 08 时之前, 对流层高层持续有暖湿平流向白银市输送水汽

和热量，加强了层结的不稳定程度；28日08时之后(图5(b))，冷平流自西向东逐步推进，范围和强度都在增加，14时中心强度达到 $-0.8 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ ，因此，对流层中层有浅薄的暖平流在中尺度系统的作用下抬升，与对流层中高层的深厚的冷平流相互配置，形成不稳定层结。

散度和垂直速度的高低空配置情况，直接决定强对流天气的发生时间、强度和落区[15]。从沿 104.5°E 暴雨区散度和垂直速度的剖面图中可看出，暴雨发生前12h，白银暴雨区及其周围处于整层的辐散下沉气流中，天气比较稳定；暴雨发生前6h，在白银市低空有弱的上升运动，高空仍为下沉运动，高低空配置仍不利于强对流天气的发生发展；28日14时(图6)，暴雨落区附近，近地面层到高层均出现上升运动，上升运动强中心位于低层800hPa，中心强度为 $-0.25 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上，此时散度场反映辐合中心也移至白银市上空850hPa，强度为 $>-1.25 \times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$ ，700hPa以上为辐散场，辐散中心位于300hPa；28日20时，低层转为弱的下沉气流，高层上升速度中心明显减弱，辐合、辐散中心也随之减弱，相应地强降雨过程基本结束。

以上散度场和垂直速度场的分析充分说明，暴雨的中心和最大垂直速度区高度吻合，高层气流辐散，低层气流辐合的环流配置，有利于高层起“抽吸作用”，从而使垂直上升运动得到了发展和加强，为此次强降水的发生提供了较好的动力条件。

分析榆中站的探空资料(图7)，以便更好地了解暴雨发生前白银市上空的大气状况。位于白银市东北部的榆中站28日08时的T-Lnp图反映，低层为东南风，500hPa为正东风，400hPa高度以上转为西北风，风场随高度发生逆转，为冷平流，500hPa高度以下风速很小，风速随高度明显递增。从低层到500hPa都比较湿，湿对流有效位能CAPE为 105.5 J/kg ，对流抑制能量为 276.9 J/kg ，沙氏指数为 -1.27°C ，表明大气层结对流不稳定，有利于暴雨的产生。

5. 云团特征

图8给出了5月28日15:00~19:00 FY-2E卫星红外云图的演变情况。从图中可以看出，造成白银短

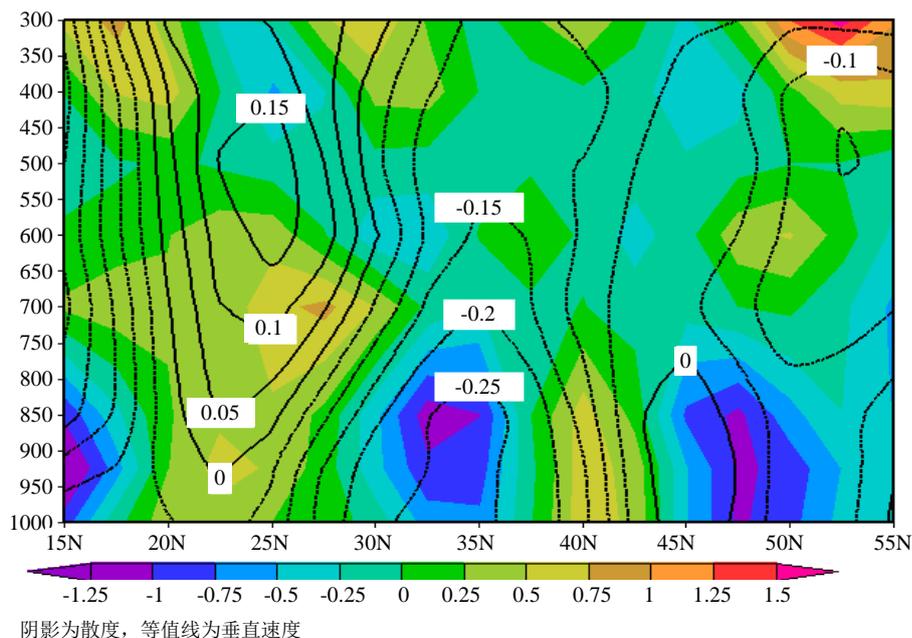


Figure 6. The profiles of divergence (Unit: $10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$) and vertical velocity (Unit: $\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) at 14:00 on May 28th, 2011

图6. 2011年5月28日14时散度(单位: $10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$)和垂直速度(单位: $\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)的剖面图

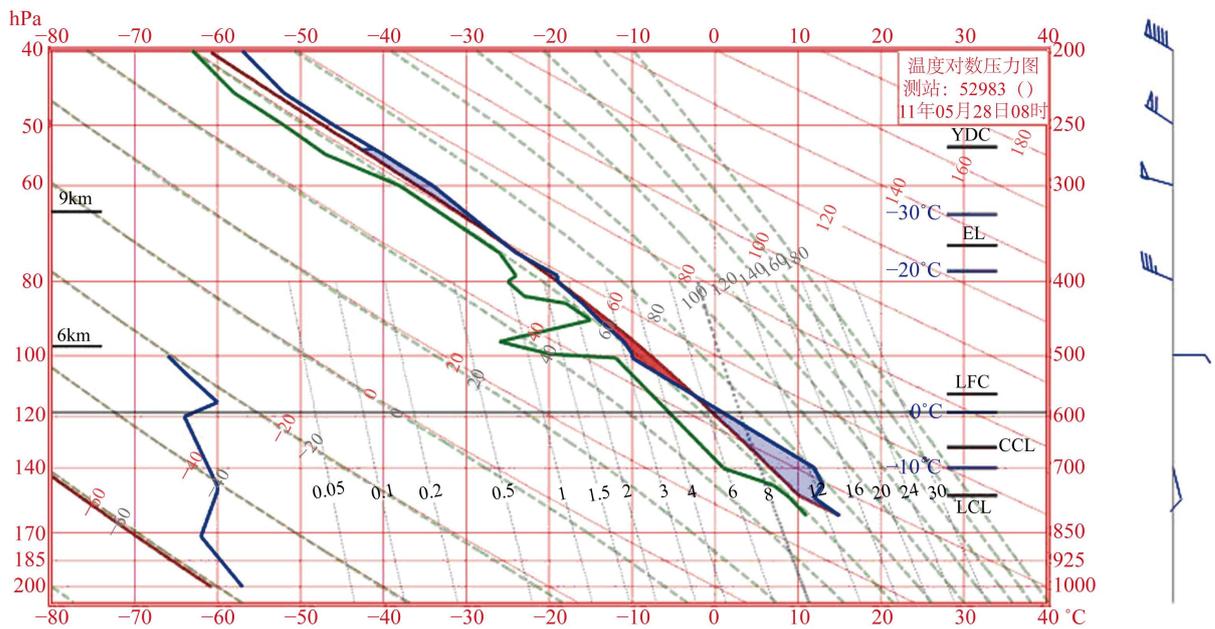


Figure 7. T-Lnp diagram of Yuzhong station at 08:00 on May 28th, 2011

图 7. 2011 年 5 月 28 日 08 时榆中站 T-Lnp 图

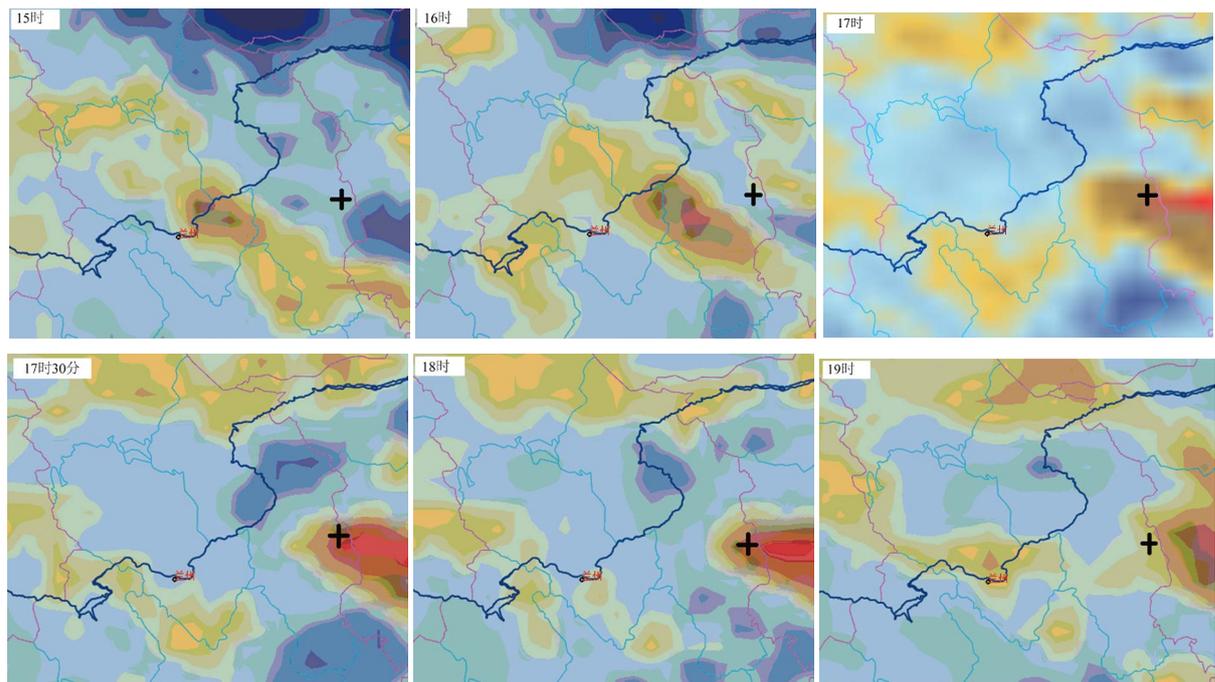


Figure 8. The evolution of satellite cloud image from 15:00 to 19:00 on May 28th

图 8. 5 月 28 日 15:00~19:00FY-2E 卫星红外云图的演变情况

时强降水的对流云团，主要是从青海的东南部东移过来的块状对流云团，与本地上空发展的对流云团相合并形成。28 日 15 时，在青海乐都县新生成的对流云团东移至兰州一带，所经之地出现阵性降水天气。之后，对流云团继续向东移动，28 日 16 时，到达白银市的南部地区，云团的面积显著增大，强度明显增强。28 日 17~17:30 时，关键区的云团发展到鼎盛期，形成水平尺度 200~400 km，云顶亮温最低为 -80°C

的中 β 尺度对流云团。28 日 18 时, 云团快速东移, 强中心已向宁夏的海源县逼近, 白银上空处于对流云团的后部, 仍有降水产生。28 日 19 时, 对流云团基本东移出白银, 此次降水过程逐渐结束。

6. 小结

1) 西伯利亚冷涡东移的大尺度环流背景下, 北方冷空气堆积加强, 不仅为强对流提供了触发机制, 也改变了本地区的温湿条件并积累了能量, 进而改变了当地的层结结构。

2) 700 hPa 低涡、切变线, 有利于辐合上升运动, 触发不稳定能量释放, 成为暴雨天气的中尺度影响系统。

3) 850 hPa 低空急流和 700 hPa 辐合线叠加使得上升运动更加强劲, 降水强度更强。

4) 屈吴山山峰较高且近似喇叭口地形, 在此次过程中, 地形抬升作用触发了中尺度降水, 该区域地质条件脆弱, 因此致灾严重。

基金项目

“国家重点基础研究发展计划资助” 2013CB430200 (2013CB430206)。

参考文献 (References)

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-71.
- [2] 孙淑清. 低层风场在暴雨发生中的动力作用[J]. 大气科学, 1982, 6(2): 394-404.
- [3] 孙淑清. 散度变化在中尺度对流系统分析预报中之应用[J]. 气象, 1989, 15(1): 3-8.
- [4] 陈忠明. 湿斜压大气中暴雨中尺度系统发展的一种可能机制[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 233-239.
- [5] 陈忠明. 大气内部非平衡强迫激发暴雨的动力诊断[J]. 科学通报, 1992, 37(14): 1342-1343.
- [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, 林纾, 张存杰, 等. 中国黄土高原区域性暴雨时空变化及碎形特征[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 373-379.
- [8] 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.
- [9] 赵庆云, 狄潇泓, 张铁军, 等. “8.19”甘肃区域暴雨的特征分布及数值模拟[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 12-16.
- [10] 王陇, 刘卫民, 贾海源, 等. 甘肃陇东南地区大到暴雨当时场环流特征气候特征分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 30-36.
- [11] 胡钰玲, 王遂缠, 王式功, 等. 2012 年初夏西北干旱区罕见区域性大暴雨天气过程分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 128-137.
- [12] 王伏村, 许东蓓, 修韶宇, 等. 一次西北地区东部大暴雨的物理机制分析[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1501-1513.
- [13] 瞿章. 从一次降雹过程看六盘山的一种地形影响[J]. 大气科学, 1982, 6(2): 203-210.
- [14] 谷国军, 王昂生, 许焕斌, 等. 有地形存在对对流云发展的数值模拟研究[J]. 气象学报, 1994, 52(1): 90-98.
- [15] 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 150-151.