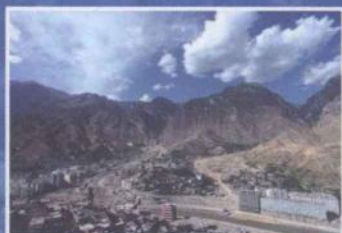


青藏高原东北边坡强降水论文集

——纪念舟曲特大山洪泥石流地质灾害一周年

Qingzang Gaoyuan
Dongbei bianpo
Qiangjiangshui
Lunwenji

张强 白虎志 王强 主编



ISBN 978-7-5029-5420-8



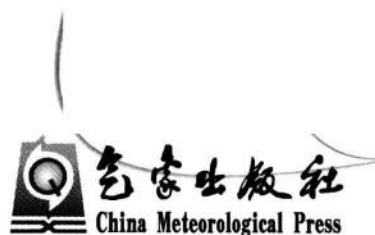
9 787502 954208 >

定价：40.00元

青藏高原东北边坡强降水论文集

——纪念舟曲特大山洪泥石流地质灾害一周年

张 强 白虎志 王 强 主编



内容简介

本书主要收集了近两年发生在青藏高原边坡地带,位于甘肃陇东南较湿润区、中部半干旱区以及河西西部干旱区以暴雨的成因及预报为着眼点的技术论文 18 篇。文集较系统地分析总结了青藏高原东北边坡地带复杂地形条件下,夏季该地区东部位于副热带边缘、北部位于西风带系统影响下,不同气候区暴雨发生机制及监测预警预报技术。该文集不仅具有较好的实用性,而且具有较高的理论水平和学术价值。可供气象、水利、国土、环境、农业等领域从事相关科学研究、教学以及业务部门的专业人员以及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原东北边坡强降水论文集:纪念舟曲特大山洪泥石流
地质灾害一周年/张强,白虎志,王强主编. —北京:气象出版社,
2012.1

ISBN 978-7-5029-5420-8

I. ①青… II. ①张…②白…③王… III. ①暴雨预报-甘肃省-
文集 IV. ①P457.6-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 009243 号

Qingzanggaoyuan Dong bei Bianpo Qiangjiangshui Lunwenji 青藏高原东北边坡强降水论文集

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:吴庭芳

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:268 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版

定 价:40.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:王永中

责任技编:都 平

印 张:10.75

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

前言

2010年8月8日是一个在我们内心划下永久伤痕的日子。该日凌晨,甘肃省甘南藏族自治州舟曲县突发了特大山洪泥石流灾害,山洪泥石流顷刻席卷舟曲县城,并且堵塞嘉陵江上游支流白龙江,在舟曲县城形成堰塞湖,造成了重大人员伤亡和财产损失。面对受灾现场触目惊心的惨状,我们既为失去的父老乡亲们痛心,也深感作为气象工作者的使命和责任,气象防灾减灾工作任重道远。

甘肃地处青藏高原边坡及黄土高原地带,地貌格局造成该地区气候、强降水以及地质特征均具有多样性,短历时局部暴雨频繁发生,极易造成山洪地质灾害等气象延伸灾害发生。短历时强降水因其突发性和局地性,监测、预报难度极大,是灾害性很强的天气事件。近年来随着天气雷达、区域站、自动站等气象现代化的建设,监测预警能力不断提高。但针对短历时强降水的监测预警系统和预报技术仍然不能满足气象防灾减灾的需求。“前事不忘,后世之师”。为了充分吸取“8·8”舟曲特大泥石流灾害给我们的经验和教训,在“8·8”舟曲特大泥石流灾害一周年的日子里,甘肃省气象局组织全省业务技术人员召开了暴雨监测预报技术研讨会,深刻冷静地反思过去的成功经验和失败教训,深入研讨短历时强降水的监测预报技术,努力寻求在关键技术难点方面取得新突破,进一步提高暴雨灾害监测预警技术水平,切实提高短时临近预报技术对气象防灾减灾能力的支撑作用,全面增强气象防灾减灾的能力,我们特意将这次纪念舟曲特大泥石流灾害一周年的“暴雨预报技术研讨会”的代表性论文整理汇集成册出版,既作为青藏高原东北边坡相关地区业务技术人员和业务管理者在局地暴雨预报技术方面的参考资料,更能时刻提醒我们气象预报服务工作要警钟长鸣!

本论文集是积全省许多预报员的心血,体现了甘肃省气象预报业务技术人员努力提高监测预报能力的信心和决心。本文集出版得到甘肃省气象局、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的支持。由“西北地区复杂地形下雷暴及短时强降水预警预报关键技术研究”(编号201206007)和甘肃省气象局科研经费共同资助。兰州中心台赵庆云、徐东蓓、王锡稳、杨建才、吉慧敏五位首席预报员对论文提出了修改意见,科技预报处的李飞为文集的整理和编排付出了辛勤地努力,倪永强为文集提供舟曲灾情图片。对他们付出的辛勤劳动一并致谢。由于时间仓促,编者水平有限,文中错漏在所难免,敬请批评指正。

编者: 

2011.9.8

目 录

前言

“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害天气特征分析…… 张之贤,张强,赵庆云,朱润鹏,朱献(1)

“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害形成的气候特征及

地质地理环境分析…… 张之贤,张强,赵庆云(12)

舟曲特大泥石流短时强降水过程分析…… 吉惠敏,王宝鉴,程鹏,狄潇泓,傅朝(24)

“8·12”甘肃大暴雨特征分析 …… 许东蓓,刘抗,车玉川,刘新伟,程鹏(32)

2010年甘肃区域性暴雨分析 …… 刘新伟,段海霞,赵庆云(43)

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…… 张之贤,张强,赵庆云(52)

酒泉西部一次强降水过程的中尺度天气图分析…… 吉惠敏(62)

“7·23”甘肃东部罕见大暴雨诊断分析 …… 樊晓春,王若升,王丽娜,李常德,吴颖娟,曾继荣(70)

甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨诊断分析 …… 樊晓春,王若升(78)

2011年5月28日白银市局地大暴雨天气

过程分析…… 景怀玺,王雅茹,石光普,徐科展,李晓霞(85)

7月3日陇南局地特大暴雨过程分析 …… 刘莉丽(95)

白银市南部春末夏初一次区域性暴雨天气

过程分析…… 景怀玺,石光普,王雅茹,徐科展,李晓霞(103)

2010年8月12日陇南特大暴雨降雨及落区预报、泥石流发生点预报分析 …… 冯军(113)

庆阳市“2010.7.22—24”区域性暴雨诊断分析 …… 张洪芬(121)

5月9日文县碧口大暴雨天气分析 …… 吴朝霞(131)

庆阳市一次区域性暴雨过程分析…… 李祥科(139)

6月26日陇南暴雨强对流天气过程分析 …… 张锋(148)

河西西部“6·16”暴雨预报技术分析…… 李红英,高振荣,田庆明,于海跃(156)

“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害天气特征分析

张之贤^{1,2,4}, 张 强^{2,1}, 赵庆云³, 孙 芸⁵

(1. 兰州大学大气科学学院, 兰州, 730000; 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,
兰州, 730020; 3. 兰州中心气象台, 兰州, 730020;
4. 93808 部队, 甘肃榆中, 730109
5. 兰州资源环境职业技术学院, 兰州, 730020)

摘 要: 本文利用常规气象资料以及卫星、雷达资料, NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料, 对“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害特征进行了归纳, 并从天气学方面分析了这次强降水。结果表明: 在舟曲前期降水偏少, 温度偏高和土壤湿度小的背景下, 突遇短时强降水引发了这次特大山洪泥石流灾害。这次泥石流表现出了连锁放大、多因素叠加等几个明显特征。这次强降水是在高空冷平流入侵, 与 700 hPa 切变线配合, 由地面冷空气扩散触发的一次强对流天气; 由于地形等原因形成的一系列 γ 中尺度气旋造成并导致降水分配极不均匀; 亮温与强降水有很好的对应关系, 但不唯一, 影响因素复杂; 多普勒雷达的径向速度对 γ 中尺度涡旋具有很好的指示意义, 旋转速度可以指示涡旋强度; 降水与 γ 中尺度气旋有很好的正相关关系。

关键词: 泥石流 多因素耦合 γ 中尺度 强对流天气 天气学分析 物理量诊断分析

1 引言

泥石流是发生在山区及山前地区的一种含有大量泥沙和石块的短时性急水流。泥石流常常具有突然暴发、来势凶猛、运动快速、历时短暂之特点, 它是严重威胁山区及山前地区居民安全和工程建设的一种地质灾害 (B. F. DI, 2008; 吴平, 2008)。据《全国地质灾害通报》(2007; 2008; 2009) 的统计数据显示, 2007—2009 年分别发生泥石流 1 215 次、443 次、1 426 次, 每年由泥石流造成的直接经济损失达 20 亿元, 死亡 300~600 人 (赵琳娜, 2010)。而我国 70% 以上的国土面积都以山区为主, 山区又是泥石流易发的主要区域, 所以山区城镇泥石流 (含泥流) 的问题十分突出 (铁永波, 2008; 谢洪, 2006)。

降雨, 尤其是暴雨和特大暴雨是泥石流发生的最主要引发因素之一 (C. L. SHIEH, 2009; 刘传正, 2004)。在 2009 年发生的 36 起大型、特大型地质灾害中, 有 24 起是降雨引发, 占到 67% (国土资源部, 2009), 因此, 研究降水型泥石流的天气学特征, 对于防灾减灾, 促进经济发展, 保护人民群众生命财产安全都具有重要意义。

* 得到国家自然科学基金重点项目“黄土高原陆面过程观测与试验研究 (批准号: 40830957) 等项目的资助。

作者简介: 张之贤 (1986—), 男, 甘肃临泽人, 硕士研究生, 主要从事天气学方面的研究。E-mail: zhangzx123@qq.com

2010年8月8日凌晨,甘肃省甘南藏族自治州舟曲县发生特大山洪泥石流灾害,县城北面的泥石流下泄,由北向南冲向县城,造成沿河房屋被冲毁,截至9月1日,在“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害中遇难1471人,失踪294人,此外泥石流阻断白龙江,形成堰塞湖造成巨大的经济损失。

从这次泥石流事件来看,表现出了以下几个明显特点:

第一,连锁放大效应。强降水引发山体滑坡,造成泥石流,进而堵塞白龙江,形成堰塞湖,威胁到下游4个县区20个乡镇114个村15.3万人生命财产安全……将危害程度逐步放大。

第二,多因素耦合效应。既包括汶川大地震、超历史极值的强降水,也包括一些人为因素,没有对山坡进行加固,砍伐森林,破坏植被,多因素的叠加,使看似具有偶然性的特大山洪泥石流具有必然性。

第三,突发性。由于短时降雨强度特别大,可以认为降水的同时引发泥石流,几乎没有滞后性,而已有的研究表明,泥石流的滞后时间一般集中在降雨后72小时内发生(白学文,2008;林孝松,2001);此外发生时值深夜,群众预警意识不强。

第四,前干后湿性。以往很多研究(孙伟,2010;余峙丹,2010;崔鹏,2003)认为泥石流的发生与前期降水呈现明显的正相关性,历史上的几次典型泥石流也均发生在前期降水比较充沛的情况下,而这次是在前期降水偏少的背景下引发的一次特大泥石流灾害。

这次泥石流具有的这些特点,使得更加难以先期预测和防范,存在诸多科学问题,需要认真讨论和研究。鉴于此,本文对这次泥石流灾害从气象角度分析了这次强对流天气,剖析了这次泥石流灾害发生的偶然性和必然性,以期找出重大灾害性天气事件的天气学特征,为以后对类似天气的预报服务提供借鉴。

2 观测站和资料

从图1看,舟曲位于甘肃省甘南藏族自治州东南部(33.81°N , 104.22°E),岷山山系从东南—西北走向贯穿全境,东邻武都县,北接宕昌县,西南与迭部县、文县和四川省九寨沟县接壤,海拔1400.9 m。

本文所用资料来自甘肃省气象局信息中心,包括舟曲气象站自1972年1月1日建立至2009年12月31日的降水资料,2010年8月的天气图资料、T639数值预报资料,天水雷达站(CINRAD/CD)的雷达资料,NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料。

3 降水主要特点

这是一次典型的短时强降水引发的特大山洪泥石流灾害。一个明显特点是降水量极大,甘南地区降水量大于50 mm的测站达到4个,东山区域站过程降水量达96.3 mm,是舟曲自有气象记录以来最强的一次暴雨天气。

图2是舟曲的3个区域站和舟曲站的降水量实况图。从图中可以看出此次降水分布极不均匀,武坪站和东山站在24时的降水分别为0和77.3 mm,差别巨大;还表现出来短时强度大的特点,2010年8月7日23时至7日24时,东山站降水量达77.3 mm,1小时降雨量达到大

暴雨标准。可以判定属于 γ 中尺度系统造成的局地强降水。

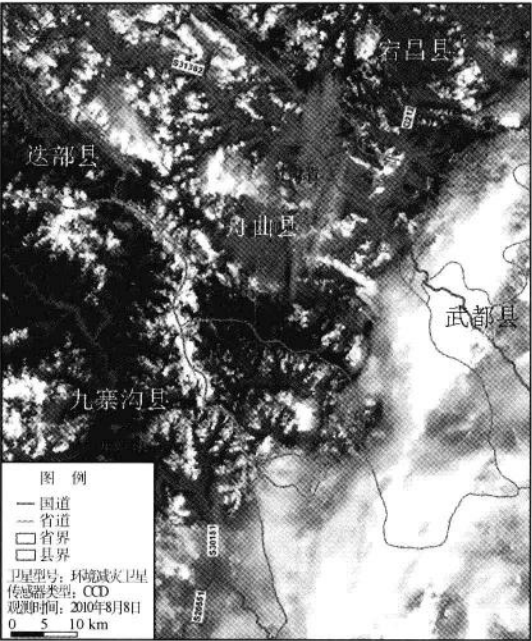


图 1 舟曲附近地理环境

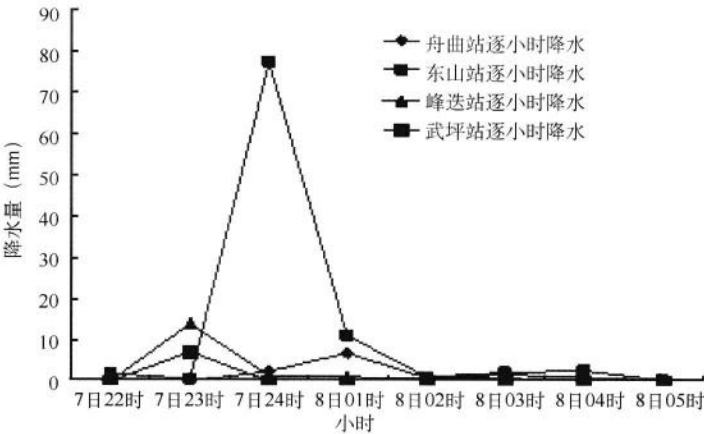


图 2 舟曲县区域站及常规站降水量实况图

翟盘茂(2003)、胡宜昌(2007)等对中国北方极端降水研究发现,西北大部分地区极端降水(大于日降水量序列的 99%)事件频率显著增加,所以这次由强降水触发的泥石流的发生具有一定必然性,但也仍有偶然性,东山区域站记录的过程雨量达 96.3 mm,历史上舟曲最大日降水量仅为 63.3 mm,比历史极值偏高 45.8%。而偶然性中又蕴含着必然性,极端天气事件的变化是全球气候变化最严重的后果之一(Milly P C D,2002)。

4 天气成因

4.1 天气学分析

西太平洋副热带高压在区域性暴雨、特大暴雨的环流背景中起着关键作用(姚秀萍, 2007)。2010年7月副高明显异常于往年,面积指数和强度指数几乎达到历史平均值的2倍,西伸脊点也偏西 29° (2010),表明2010年西太平洋副热带高压明显偏强。从全国范围来看,2010年7月全国平均气温比常年同期(21.4°C)偏高 1.4°C ,为1961年以来最高;甘肃中部和西北部等地降水偏少3~8成,部分地区偏少8成以上(王文东,2010)。舟曲2010年7月份降水较常年同期偏少28%,造成了前期干旱的特点。

8月7日舟曲当天的最高气温达到了 34°C ,比前几日的最高温度均有 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 的升高,这表明底层增温明显,为强对流天气的发生提供了热力条件;700 hPa甘肃中部以东地区处于大陆副热带高压后部,一致强盛的西南风,底层聚集大量水汽,为强对流的发生提供了水汽条件。

受青藏高原夏季热源的影响(朱乾根等,2007),7日的08时和20时显示400 hPa及其以上都为南亚高压控制,表现为辐散气流;700 hPa舟曲受切变线影响,500 hPa高空槽超前于700 hPa,最强上升运动位于700 hPa附近,在这一有利的高低空环流形势配合下,加速了底层空气的垂直运动,从动力机制上具备了对流发生的条件。

8月7日20时,500 hPa副高明显南压,脊线到了 31°N 附近,舟曲处于副高边缘,高空槽分裂为两段,偏南一段明显东移南压,由早上的大约 40°N 伸到了 36°N 。从图3(a)中尺度天气系统综合分析上看,500 hPa高度槽和温度槽基本重合,系统已达到最强,500 hPa 12小时显著负变高线和负变温线、700 hPa湿区构成图中所示阴影区,加之700 hPa切变线横穿此区域,形成有利于出现暴雨的高低空环流形势配合。

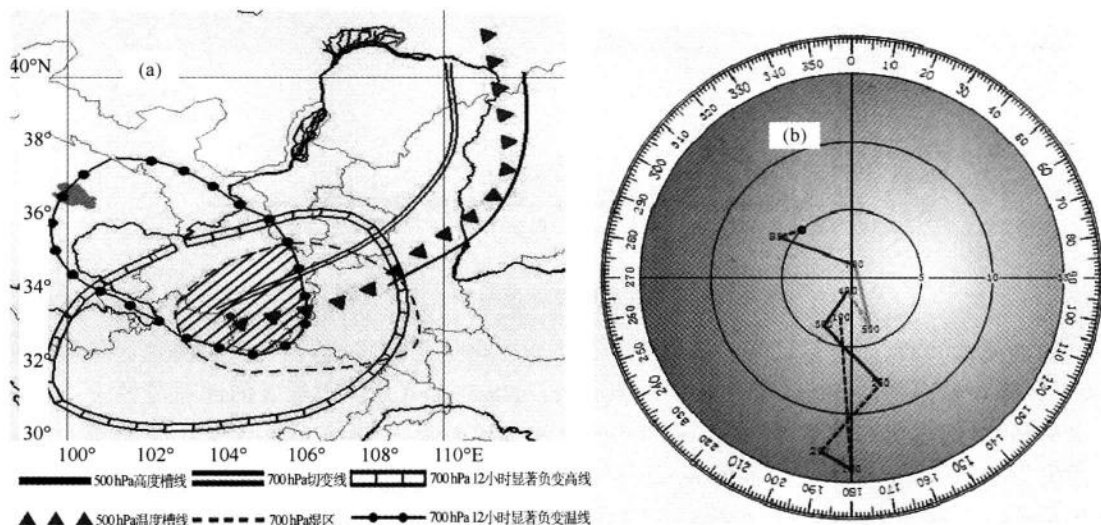


图3 8月7日20时天气图综合分析(a)及武都站高空风图(b)

从图 3(b)武都站 20 时探空图看,500 hPa 以下呈现明显的顺时针切变,500 hPa 之上逆时针切变,表明底层暖平流明显,高层冷空气侵入,造成上干下暖湿的形势,为强对流的形成积累了能量。

FY-2D 卫星云图显示(图略),午后对流雷暴单体首先在高原发展,14 时高原南部出现大量对流性云团,云团零散,体积较小,但发展迅速,到 16 时,对流单体逐渐结合成一个对流云带,后期与冷锋云系相衔接,位于兰州西南面的一个云团发展尤其迅速,强度较强,在 500 hPa 槽后西北气流的引导下向偏东略向南的方向移动。

图 4 给出 7 日 20 时到 8 日 01 时 FY-2D 气象卫星相当黑体亮温云图和对应的甘肃省区域站降水资料(均只标出 ≥ 20 mm 的区域站降水,除 8 月 8 日 01 时)。

在少云区或无云区相当黑体温度(TBB)一般 $>0^{\circ}\text{C}$;在有云区,亮温一般 $\leq 0^{\circ}\text{C}$,且亮温越低,对应云顶越高、对流越旺盛,在中低纬度和夏季尤其如此(姚秀萍,2005;李海燕,2010)。通过亮温资料可了解云垂直发展情况的间接信息。

从图 4(b)可以看出,此时云团达到最强,表现在此时亮温最低,有 8 个站的小时降雨量超过 20 mm,但在两个云团结合处也出现了一个 54 mm 降水的测站,表明此处可能是由于中小尺度系统的影响,由于比例尺的原因不能在卫星云图上直观显示;在图 4(c)上,云系总体减弱,边缘呈现扩散,最强云团边缘移到舟曲;此后云团继续减弱,但在图 4(e)中出现两个降水为 77 mm 的测站,偏北的是受残余冷锋云带的影响,舟曲的强降水则是在大的云团背景下,一个 γ 中尺度气旋作用的结果;在图 4(f)上,云团已经基本移出舟曲并逐渐减弱消失,表现在只出现了零星降水,最大只有 3 mm,标志此次强对流天气过程基本结束。

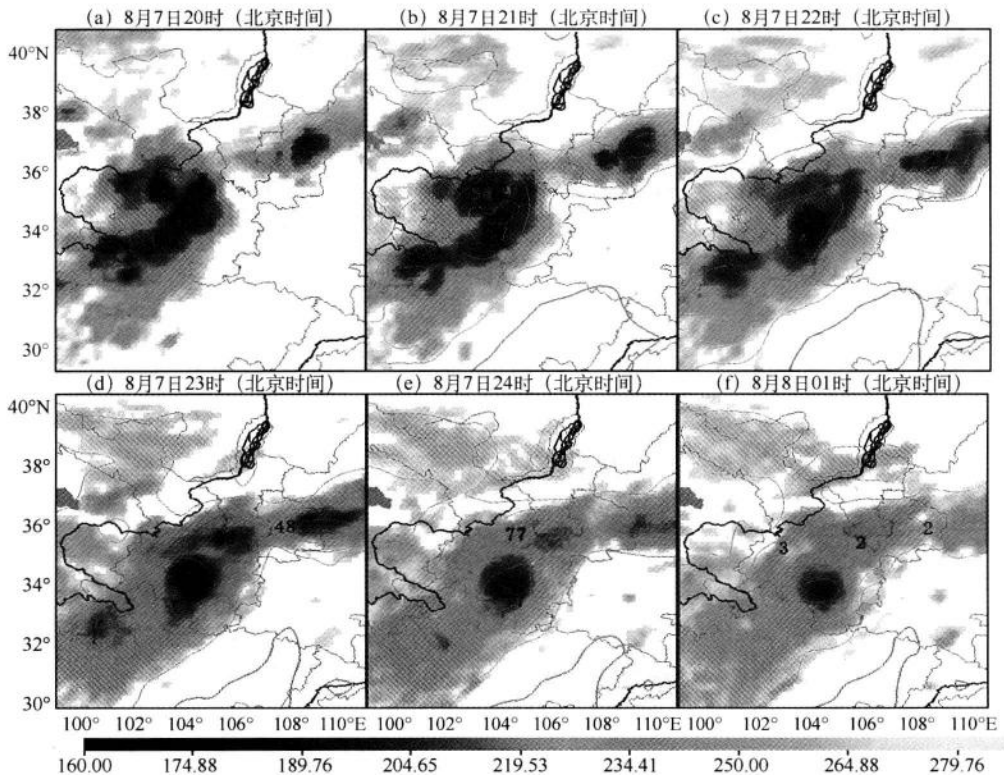


图 4 FY-2D 卫星相当黑体亮温云图

综合分析图 4 可以发现,降水较大的测站基本出现在颜色最深的地方,颜色越深表明亮温越低,证明了降水和相当黑体亮温有很好的对应的关系。但进一步观察可以发现,几个出现较强降水的测站,亮温并不是最低的,研究得出图 4(b) 54 mm 降水的测站出现在两个云团结合处,较强的辐合导致了很大的降水;图 4(d) 48 mm 降水的测站则由于六盘山地形的影响;图 4(e) 北面的 77 mm 降水的测站是由于残余冷锋云带的影响。表明导致强降水的因素是复杂的,应该综合考虑天气形势、地理环境等因素。

傅珊等(2006)通过分析亮温资料,认为亮温在 210~193 K 可以作为强对流天气临近预警的关键区和关键指标,对暴雨的产生有很好的指示作用。图 5 分析的云团亮温为对流云团亮温最低处的亮温,尺度为亮温在 200 K 以下的云团平均直径,可以看出在 23 时之前都维持在百千米的量级,而后迅速减弱,02 时完全消失;云顶温度在 21 时达到最低,为 185 K,而后逐渐升高。表明云团和亮温对应关系较好,但可以看出尽管以 200 K 为阈值分析云团直径,但仍然尺度较大,不利于精细化的预报,对这种强降水天气不能准确判定也就无法有效预防次生灾害的发生。

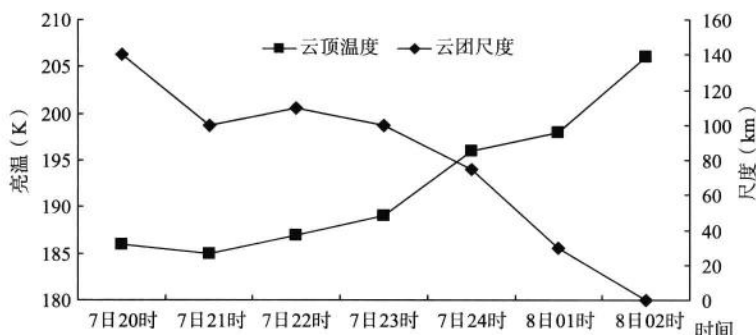


图 5 亮温和云团尺度定量分析

从图 6 可以看出,22 时亮温达到最低,为 199 K,而后逐渐升高,表明位于舟曲上空的云团趋于减弱。从整个过程看,在 21 时 TBB 最低达到了 185 K,说明云团移至舟曲已趋于减弱。从亮温和降水的对应关系上来看,22 时最低,23 时出现强降雨,出现延迟可能是因为 TBB 最低的时候云团还在发展,上升运动很强,使雨滴并没有下落,等云团发展成熟,才表现出了强降雨。

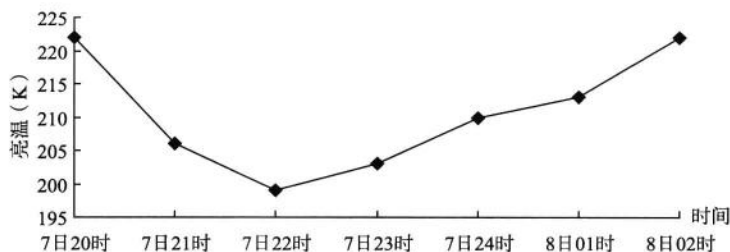


图 6 舟曲、峰迭、武坪、东山测站四点的亮温平均图

多普勒天气雷达主要测量三个参量,即表示降水回波强度的反射率因子、雷达取样体积内的降水粒子沿着雷达径向的平均速度和径向速度谱宽(吴芳芳,2010;俞小鼎,2006)(本文中所

用到的多普勒雷达速度产品其方向均为负速度代表离开雷达,正速度朝向雷达)。

在 17:58 监测到渭源上空出现对流云团,范围很小,强度不强;18:59,范围迅速扩大,在 4.3° 仰角雷达反射率因子显示回波最南端距舟曲约 50 km;在 3.4° 仰角径向速度图上,在大片向着雷达的速度区中有一团较小的离开雷达方向的速度区(黄色)的区域,出现一条较为明显的速度切变线,其旋转速度最大处为 12 m/s(旋转速度是正负速度绝对值之和的二分之一(俞小鼎,2005)),表明沿着该对流雨带前沿有一系列 γ 中尺度气旋在发展,对应地面降水实况,降水在 20 mm 以上和 10 mm 以下的测站之和与有降水的测站之比达到 80% 以上,说明 γ 中尺度气旋发展强烈,而且尺度在 10 km 左右。

20:08,对流云团移动到宕昌上空,从 3.4° 仰角径向速度图上看,在大片正速度区中呈现负速度的云团明显增多,表明 γ 中尺度涡旋发展明显,但旋转速度没有明显加大;22:05,从 3.4° 仰角径向速度图上看,大量正负速度的云团错综叠加在宕昌上空,但强度不大,表明 γ 中尺度涡旋数量多,直径小,强度较弱;但从连续变化上看,这些气旋生消迅速,在实况上表现出短时强降水的特点;23:01,在 1.5° 仰角径向速度图上,速度切变线旋转速度最大处达到 22 m/s,增大明显;23:57, 2.4° 仰角径向速度图上速度切变线减弱,负速度明显大于正速度且范围也较大,对应降水实况,23—24 时舟曲东山区域站出现暴雨。

00:40,强回波迅速东移减弱,舟曲地区 1.5° 仰角回波最强处约 35 dBz,表明已处于消散阶段;03:56, 1.5° 仰角回波强度不足 20 dBz,表明已基本受积云性层积云的影响,标志此次强对流降水过程结束。

从图 7 的回波强度可以看出, 1.5° 和 4.3° 仰角都表现出在 23 时回波强度达到最强,其中 1.5° 仰角反射率因子最强处达到 50 dBz,从雷达产品上看(图略),顶高达 14~15 km,液态含水量 $3\sim 5\text{ kg/m}^2$,位于舟曲上空,到 24 时,回波有所减弱,回波最强处 40 dBz,位于舟曲东南方向,移动较慢。

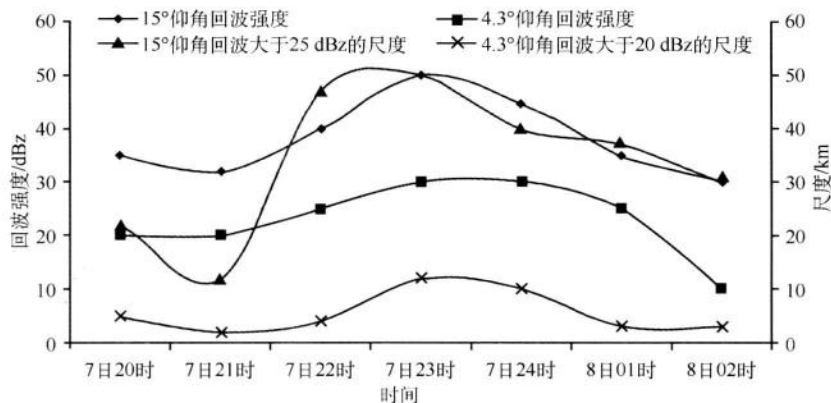


图 7 1.5° 和 4.3° 仰角回波强度和尺度随时间变化图

分析图 7 的回波尺度从时间上看,也是在 23 时达到最大, 1.5° 仰角的回波大于 25 dBz 的尺度达到 50 km, 4.3° 仰角的回波大于 20 dBz 的尺度也到了 10 km,此后随着能量释放,尺度迅速减小;进一步分析分析强回波的尺度可以发现,这是一次多单体的对流过程,单体尺度都维持在 10^2 km 的量级,从回波强度图上看单体表现的较为松散,强回波里夹杂大量回波较弱的云团,表现出生消快,生命史很短的特征,和降水实况的特点也是吻合的。分析武都站的任

意两层风垂直切变都在 10 m/s 以下,风垂直切变较弱导致只能形成组织松散的多单体对流(俞小鼎,2005)。

结合分析图 7 的回波强度和尺度,可以发现强度和尺度有很好的正相关关系,强度增大对应着尺度的增大,参照降水实况发现同时对应着强降水;结合两个仰角层的尺度可以看出,尺度的增大表征着云团在水平和垂直方向都得到了发展。

通过分析雷达资料可以发现,总的来说多普勒雷达资料对对流天气的预报效果还是比较好的。但由于舟曲处于天水雷达站 150 km 扫描半径的边缘,看不到舟曲西面的回波资料,给预报员提前做出预报带来了很大的难度。

4.2 物理量诊断分析

因为舟曲站没有探空,分析临近的武都站、合作站和红原站,合作位于舟曲西北方向 196 km 处,武都位于舟曲东南方向 64 km 处,红原位于舟曲西南方向 208 km 处。

对流有效位能(CAPE)是一个能定量反映大气环境中是否可能发生深厚对流的热力变量,对强对流的发生有较好的指示意义(李海燕,2010)。其表达式为

$$CAPE = g \int_{Z_f}^{Z_e} \frac{1}{T_x} (T_w - T_x) dz \quad (1)$$

式中 Z_f 为自由对流高度, Z_e 为平衡高度, T_w 为环境虚温, T_w 为气块虚温, T_x 为自由对流高度和平衡高度之间环境的平均虚温。若忽略虚温影响, CAPE 即为 T - $\ln p$ 图上红色面积所对应的能量,见图 8。

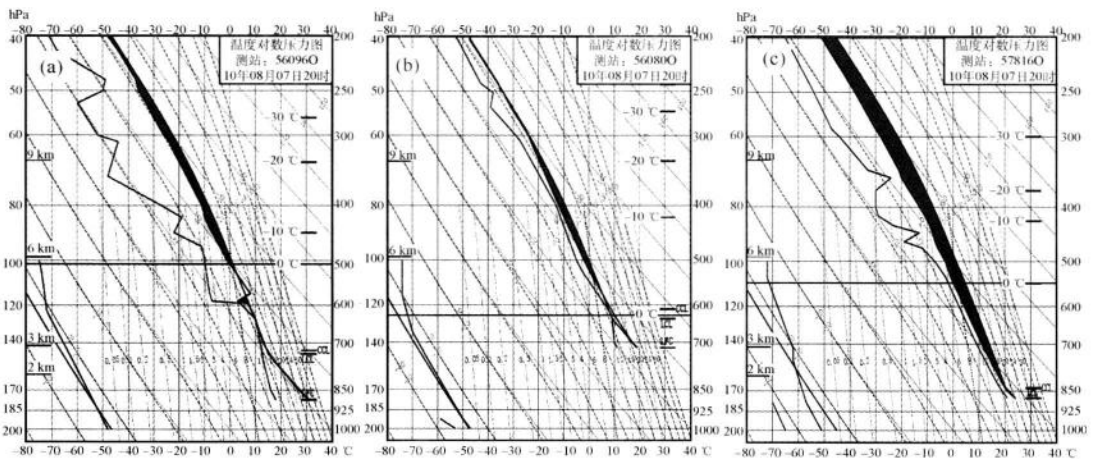


图 8 武都站(a)、合作站(b)、红原站(c)20 时探空图

考虑虚温影响,定量计算,武都站的 CAPE 达 $757.7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,偏南四川红原的 CAPE 达到 $916 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,合作站的 CAPE 为 $353.3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,这基本与 700 hPa 的西南暖湿气流相重合,这一带积聚了大量不稳定能量(见图 10)。结合高低层环流形势分析,此时冷空气已整体南压扩散,冷空气侵入激发不稳定,迫使对流有效位能迅速释放减弱,形成强对流天气。

图 9(a)可以看出,CAPE 在一天中的变化具有明显的规律,20 时的 CAPE 明显大于 08 时,这是由于太阳辐射的作用,积聚了不稳定能量;但也可以看出,CAPE 的高值区并不一定对应不稳定天气,在 6 日 20 时,CAPE 达到 $1723.8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,是 7 日 20 时的一倍多,但在武都

并没有天气过程出现。

图 9(b)是根据武都站地面观测的温度和露点,利用邻近时间的高空探测资料订正后的 CAPE 值。随着温度的升高,CAPE 值逐渐升高,到 14 时达到最大,而后缓慢降低,反映了一天各个时间段的变化规律。

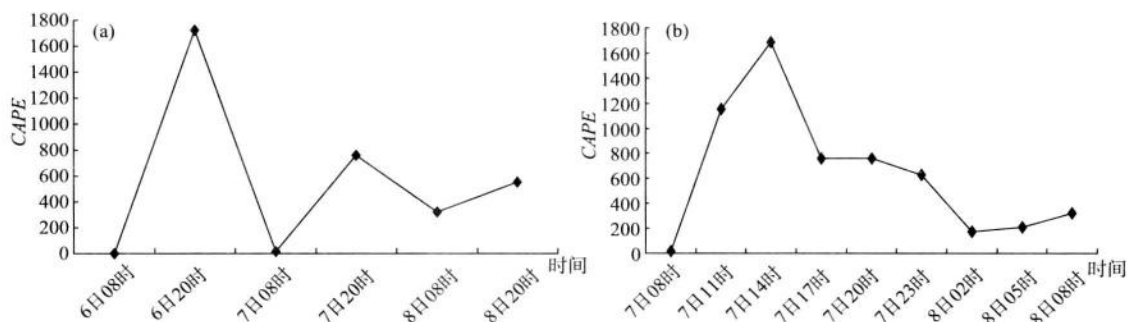


图 9 武都站原始(a)和修正后(b)的 CAPE 随时间变化(单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

综合研究图 11,说明 CAPE 值很大并不一定就出现对流天气,只要达到一定数值就有可能,但对流天气的出现则对应着一定数值的 CAPE 值。CAPE 值只是不稳定天气出现的一个必要条件,而非充分必要条件。

对流有效位能是一种潜在能量,当具有高对流有效位能的气块被上升运动抬升到自由对流层以上时,对流有效位能才能转换为对流运动的动能——对流上升速度(钱传海,2007)。从图 10(a)可以看出垂直速度最大值中心大约在 $(32.5^{\circ}\text{N}, 102^{\circ}\text{E})$,垂直速度达 $-0.30 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$,但此时高低层形势配合的并不好,从图 10(b)可以看出,最大值中心大约在 $(32.6^{\circ}\text{N}, 104^{\circ}\text{E})$,相距较远,所以此时并没有形成强烈的对流天气;伴随着 700 hPa 西南气流的引导,700 hPa 极值中心向东北方向移动,高低层形势配合渐趋于符合强对流条件,对应天气实况,从西南到东北方向相继出现短时强降水天气,强度逐渐增强。

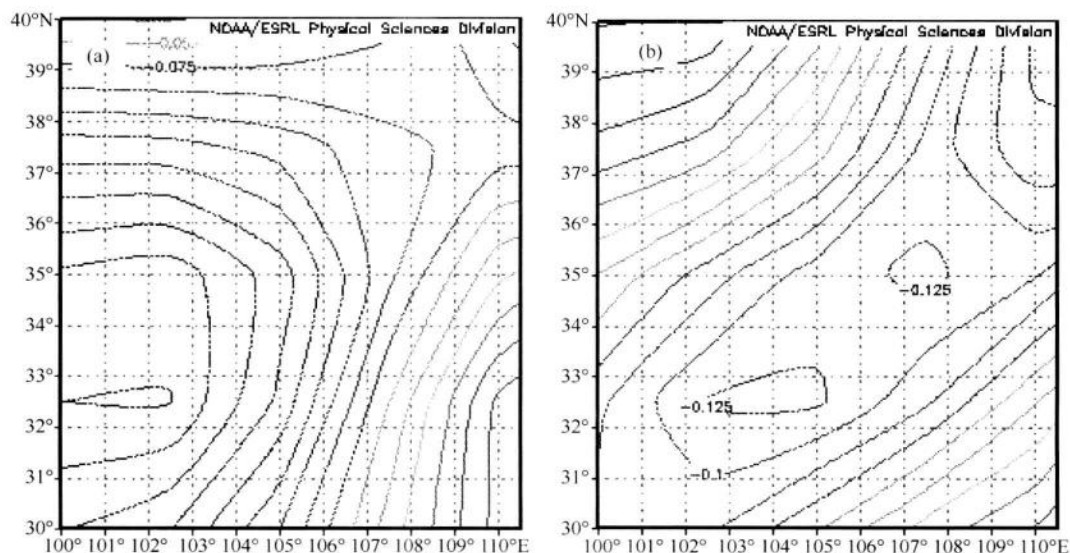


图 10 20 时 700 hPa(a)和 300 hPa(b)垂直速度场分析(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

从图 11(a)上看,此时的辐合中心还处于甘肃东南部,与卫星云图上亮温最低的云团配合较好,舟曲处于强辐散带,数值达 $-24.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,散度梯度很大,结合 700 hPa 切变线,水汽的输送和聚集为暴雨提供了水汽基础;看图 11(b),在甘肃南部偏东地区也有一个水汽辐合中心,由于 700 hPa 辐合中心移动迅速,两个辐合中心的高低空错综叠加,造成了水汽分配不均匀,加之地形复杂,从宏观上可能是这次降水极不均匀的一个原因。

5 结论与讨论

分析表明这次泥石流形成的主要成因是由于舟曲前期持续高温少雨,在高空冷平流入侵,配合 700 hPa 切变线形成的一次 γ 中尺度强对流云团造成的一次超历史极值的短时强降水天气。由于舟曲 2010 年降水“前干后湿”的特点,前期土质疏松和沙化,突遇强降水冲刷,对原本松散易垮的山体、岩体形成浸泡和巨大冲击,大量泥土沙石和植被被冲刷,形成了这次泥石流。

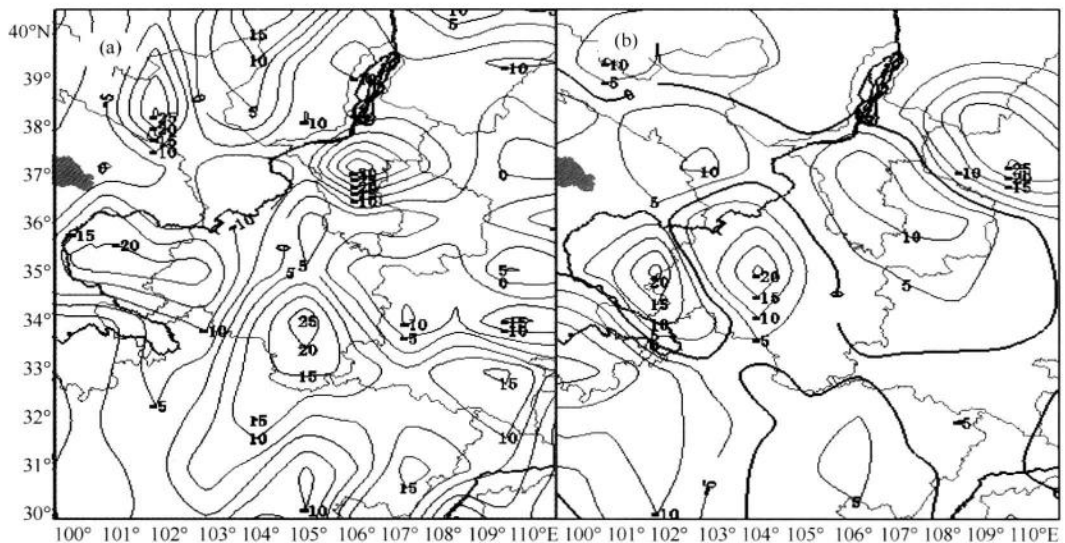


图 11 20 时 700 hPa(a)和 500 hPa(b)水汽通量散度场分析

而且,与这次特大山洪泥石流灾害有关的降水过程的天气学特点表现为:降水极不均匀的可能原因是高低空水汽分配不均,加之由于冷空气扩散,形成了一系列 γ 中尺度气旋而引起的,用多普勒雷达的径向速度图判断 γ 中尺度涡旋有一定的指示意义,旋转速度可以部分地定量描述强度;相当黑体亮温与降水对应关系较好,但亮温并不是反映降水的唯一因素,因子复杂;弱的旋转风切变也可以出现强的不稳定天气,在这次过程中任意两个高度层的旋转风切变没有超过 10 m/s;研究还发现对流云团水平尺度增大的同时垂直尺度也在增大,与降水的对应关系很好。

降雨是诱发山洪地质灾害发生的主要因素之一。降雨量、降雨强度的控制指标即临界雨量或临界雨强,它们是实时山洪灾害预报、预警业务中诊断山洪灾害是否可能发生并及时采取相应预防措施的关键性指标(吴红,2005)。因此,精细化的天气预报是防范泥石流的先决条

件,而对于这样的 γ 中尺度系统,多普勒雷达资料是最有效的。加快进行气象业务建设,扩大多普勒雷达覆盖区域,并研究出适合本地区降水特点的,尤其是暴雨特点的雷达反演降水关系式将可以极大提高对流天气预报准确率,为泥石流等气象衍生灾害防范提供可靠依据。

参 考 文 献

- 白学文,段旭,解福燕,等. 2008. 玉溪滑坡泥石流与降水关系及气象预警预报研究[J]. 云南地理环境研究, **20**(4):20-26.
- 崔鹏,杨坤,陈杰. 2003. 前期降雨对泥石流形成的贡献(以蒋家沟泥石流形成为例)[J]. 中国水土保持科学, **1**(1):11-15.
- 傅珊,岳艳霞,李国翠. 2006. TBB 资料的处理及应用[J]. 气象, **32**(2):40-45.
- 国家气候中心气候系统诊断预测室. 2010. 2010 年 7 月 500 hPa 环流指数、环流特征量资料[J]. 气象, **36**(9):128.
- 国土资源部. 2007. 全国地质灾害通报[R].
- 国土资源部. 2008. 全国地质灾害通报[R].
- 国土资源部. 2009. 全国地质灾害通报[R].
- 胡宜昌,董文杰,何勇. 2007. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展, **22**(10):1066-1075.
- 李海燕,施望芝,陈光涛. 2010. 2008 年 6 月黄冈一次强对流天气过程诊断分析[J]. 暴雨灾害, **29**(1):65-70.
- 林孝松,郭跃. 2001. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, **16**(2):87-92.
- 刘传正,温铭生,唐灿. 2004. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, **23**(4):303-309.
- 钱传海,张金艳,应冬梅等. 2007. 2003 年 4 月江西一次强对流天气过程的诊断分析[J]. 应用气象学报, **18**(4):460-466.
- 孙伟,高峰. 2010. 暴雨型泥石流预报中的降水因子[J]. 安徽农业科学, **38**(12):6287-6288,6433.
- 铁永波,唐川. 2008. 山区城镇泥石流灾害风险控制模式探讨[J]. 灾害学, **23**(3):10-14.
- 王文东. 2010. 2010 年 7 月大气环流和天气分析[J]. 气象, **36**(10):122-127.
- 吴芳芳,俞小鼎,王慧等. 2010. 一次强降水超级单体风暴多普勒天气雷达特征[J]. 大气科学学报, **33**(3):285-298.
- 吴红,邵亮,陆登荣. 2005. 兰州市区地质灾害与暴雨强度[J]. 干旱气象, **23**(1):63-67.
- 吴平,郑文晓. 2008. 泥石流的形成条件及其防治措施[J]. 西部探矿工程, **3**:04-05.
- 谢洪,钟敦伦,韦方强,等. 2006. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因[J]. 山地学报, **24**(1):79-87.
- 姚秀萍,刘还珠,赵声蓉. 2005. 利用 TBB 资料对西太平洋副热带高压特征的分析 and 描述[J]. 高原气象, **24**(2):143-151.
- 姚秀萍,吴国雄,刘屹,等. 2007. 热带对流层上空东风带扰动影响西太平洋副热带高压的个例分析[J]. 气象学报, **65**(2):198-207.
- 余峙丹,张辉,郭荣芬. 2010. 云南楚雄特大滑坡泥石流气象成因[J]. 气象科技, **38**(1):136-140.
- 俞小鼎,王迎春,陈明轩,等. 2005. 新一代天气雷达与强对流天气预警[J]. 高原气象, **24**(3):456-464.
- 俞小鼎,郑媛媛,张爱民等. 2006. 安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 高原气象, **25**(5):914-924.
- 翟盘茂,潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, **58**(增刊):1-10.
- 赵琳娜. 2010. 中国降水型泥石流研究现状[J]. 气象, **36**(2):81-86.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2007. 天气学原理和方法(第四版)[M]. 气象出版社 485-487.

“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害形成的气候特征及地质地理环境分析

张之贤^{1,2,4}, 张 强^{2,1}, 赵庆云³, 孙 芸⁵

1. 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, 兰州 730020;
2. 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000; 3. 兰州中心气象台, 兰州, 730020;
4. 93808 部队, 甘肃榆中, 730109
5. 兰州资源环境职业技术学院, 兰州, 730020

摘 要:本文利用舟曲气象和地质资料, 分析了“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害的气候特征和地质地理环境。这次泥石流是在舟曲特殊的地质地貌和地理环境下, 由于前期干旱, 突遇强降水而发生的一次特大地质灾害。崩塌、滑坡、地震和人为因素, 特别是“5·12”汶川地震, 较大程度上破坏了舟曲地质, 为泥石流提供了丰富的物质来源; 前期干旱在一定程度上加剧了这次灾害; 超历史极值的强降水是触发泥石流的直接因素。通过对舟曲气候研究发现, 7 月、8 月降雨频繁, 过程雨量大, 尤其 8 月上旬大雨发生频率最高, 应密切关注可能引发的地质灾害。注意加强对地质地貌的保护, 研究历史气候、月季气候特征对泥石流发生的影响, 确定在不同地形和地质地貌背景下的泥石流降水量阈值, 对泥石流的预报有很大意义。

关键词:泥石流 地质地貌 气候 强降水 多因素耦合

1 引言

在全球气候变暖的背景下, 近年来极端天气事件时有发生, 世界许多地方因发生极端天气事件而暴发了几十年或百年一遇的特大洪水泥石流灾害(He Shanfeng, 2010; Milly P C D, 2002; 王裕宜, 2009)。泥石流是山区的一种严重的地质灾害问题(B. F. DI, 2008; 谢洪, 2006; 铁永波, 2008), 具有暴发突然、来势凶猛、运动快速、历时短暂之特点(吴平, 2008)。

据《全国地质灾害通报》(2007; 2008; 2009)的统计数据显示, 2007—2009 年分别发生泥石流 1 215 次、443 次、1 426 次, 每年由泥石流造成的直接经济损失达 20 亿元, 死亡 300~600 人(张国平, 2010)。

2010 年 8 月 8 日凌晨, 舟曲县城北侧三眼峪沟和罗家峪沟暴发特大山洪泥石流灾害, 流

* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目“黄土高原陆面过程观测与试验研究”(编号: 40830957) 和国家公益性行业科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究(编号: GYHY200806021)”共同资助。

** 作者简介: 张之贤(1986—), 男, 甘肃临泽人, 硕士, 主要从事预报技术、短期天气预报的研究。E-mail: zhangzxzlz@qq.com

经区域被夷为平地,大片村民房屋和县城建筑被淤埋、摧毁。泥石流淤积白龙江形成堰塞湖,舟曲县城城区三分之一被淹。据舟曲抢险救灾指挥部统计,此次泥石流灾害造成1 501人死亡,264人失踪,受灾人数2万多人。“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害给居民生命财产造成了巨大损失,生产生活带来严重困难,造成的损失全国罕见。

泥石流发生的动力机制是非常复杂的(Sun Ping, 2011),主要受特定的地质地貌与恶化的自然生态环境的控制,并受异常降雨量的触发,泥石流的发生是它们相互组合作用的结果(高速, 2002)。这次泥石流既包括舟曲松散的地质地貌,汶川大地震,超历史极值的强降水,也包括一些人为因素,呈现出多因素耦合效应,使得看似具有偶然性的特大山洪泥石流灾害具有一定必然性;此外这次灾害是在前期降水偏少甚至干旱的背景下引发的,而以前的一些研究(崔鹏, 2003;孙伟, 2010;余峙丹, 2010)认为泥石流的发生与前期降水呈现正相关,历史上的几次典型泥石流(田冰, 2008;刘成, 2006;韦京莲, 1995;李德基, 1994)也均发生在前期降水比较充沛的情况下,呈现出一定的特殊性。

目前的泥石流的预报还存在很多科学问题,如前期降水量的确定,地质地貌特征等,加之这次泥石流和以往的泥石流相比具有的一些特殊性,使得更加难以先期预测和防范,需要认真讨论和研究。鉴于此,本文对这次泥石流灾害从地质地貌和气候两方面分析,归纳出这次泥石流的特点,具体分析了影响因子,以期对优化泥石流频发区经济发展方式及泥石流的监测预警等提供借鉴。

2 观测站和资料

本文所用气象资料来自甘肃省气象局信息中心,包括舟曲气象站自1972年1月1日建立至2009年12月31日的降水资料;2010年1—8月逐月降水量;2010年8月7日—8月8日甘南地区逐小时降水资料;相关地质地貌资料。

甘南地区的气象观测站如图1所示,黑点代表自动气象观测站点,圆圈代表常规气象站点。

3 降水实况

从图1所示的过程降水量分布图可以看出这次降水量值很大,大于30 mm的就有4个站点;降水最强的地方出现在东山站,过程降雨量96.1 mm,达到暴雨标准,是舟曲自有气象记录以来最强的一次降水天气,打破历史极值;此外还可以看出这次降水在地域上分布的极不均匀性,表现在相距不远的测站降水量相差极大,比如代古寺过程降水93.8 mm,而周围的立节和多儿分别只有4.9 mm和5.3 mm,而距离只相差15 km。统计发现降水量在10 mm以下和30 mm以上的测站占有降水测站总数的79%,表现出了短时强对流的小尺度特性,也为精细化预报提出了很高的要求。图1的阴影为这次泥石流的发生区域,可以直观看出对应着较强的降水,但强降水却不一定引发泥石流,比如代古寺站,降水量达93.8 mm,表明泥石流发生的影响因素复杂。



图1 甘南地区观测站点、8月7日20时至8月8日04时降水量及泥石流发生区域分布图

图2是舟曲的3个区域站和舟曲站的降水量实况图。从图2还可以看出此次降水在时间上分布极不均匀的特性,东山站在23时和24时的降水量分属于小雨和暴雨,相邻时刻的降水量相差悬殊;同时能看出短时降水强度大的特点,东山站在24时的小时降水量达到暴雨标准。还可看出相邻测站在同一小时的降水也差别很大,武坪站和东山站在7日24时的降水量分别为0和77.3 mm,说明开展小尺度预报研究的重要性,对地质灾害的预报、警戒具有重要意义;

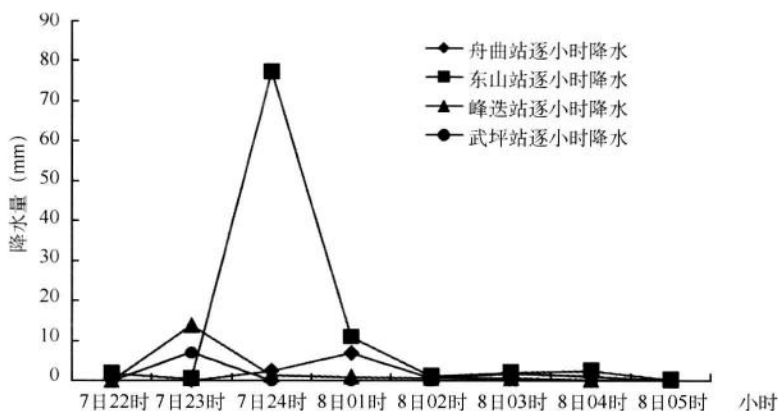


图2 舟曲县区域站及常规站降水量实况图

从这次泥石流事件来看,表现出了以下几个明显特点:

第一,连锁放大效应。由强降水连锁引发一系列灾害,并将灾害程度逐步放大,产生放大效应。强降水引发山体滑坡,造成泥石流,冲毁基础设施,形成堰塞湖,威胁到下游4个县区20个乡镇114个村15.3万人生命财产安全……将危害程度逐步放大。

第二,多因素耦合效应。既包括汶川大地震,超历史极值的强降水,也包括一些人为因素,没有对山坡进行加固,砍伐森林,破坏植被,多因素的叠加,使看似具有偶然性的特大山洪泥石流具有必然性。

第三,突发性。几乎是在降水的同时引发泥石流,没有滞后性,而已有的很多研究表明泥石流一般集中在降水后72小时发生(林孝松,2001;白学文,2008)。

第四,前干后湿性。以往很多研究(崔鹏,2003;孙伟,2010;余峙丹,2010)认为泥石流的发生与前期降水呈现明显的正相关性,历史上的几次典型泥石流也均发生在前期降水比较充沛的情况下,而这次是在前期降水偏少的背景下引发的一次特大泥石流灾害。

4 地理环境和地质地貌成因分析

4.1 地理环境分析

舟曲县地处青藏高原东南边缘,南秦岭山地,甘肃省甘南藏族自治州东南部(33.81°N, 104.22°E)。从图3看,岷山山系以东南—西北走向贯穿全境,东邻武都县,北接宕昌县,西南与迭部县、文县和四川省九寨沟县接壤,是典型的高山峡谷地貌。

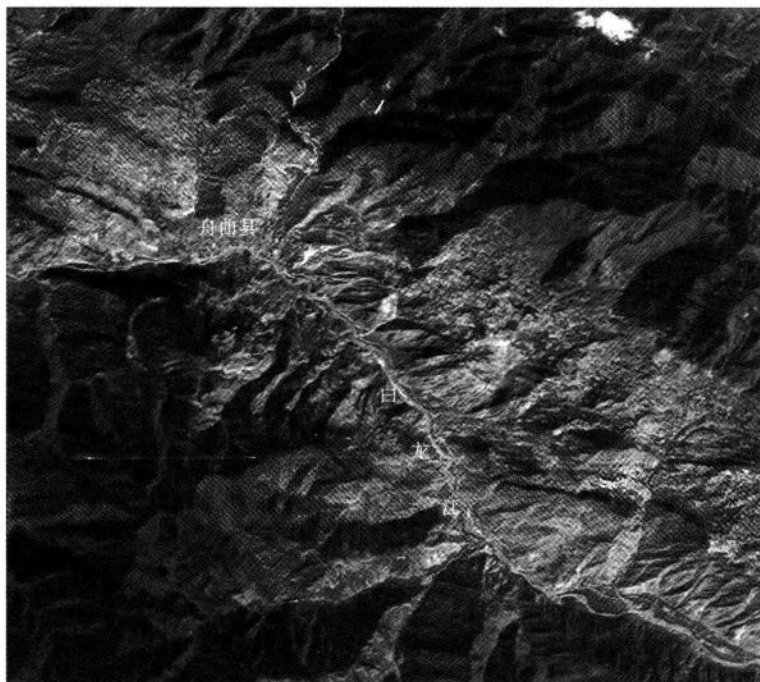


图3 舟曲地理环境

白龙江属嘉陵江上游一级支流,夹于迭山山系和岷山山系之间。白龙江流域内山峦重叠,沟壑纵横,河谷下切甚深,河道曲折,川峡相间,水流湍急,是一个典型的高、中山峡谷区。从舟曲县西北朶瓦山入境向东南方向穿城而过。舟曲县依白龙江而建,夹于南北两山之间,依山傍河,地域狭窄。

这次发生灾害的三眼峪沟流域位于舟曲县城北侧,属白龙江一级支流,是一条灾害性稀性泥石流沟,历史上泥石流灾害频发(余斌,2010;杨麒麟,2010)。由于多次冲积形成了一个洪积扇,舟曲县城就坐落于上面。沟谷总体呈南北向展布,北高南低,最高点海拔3 828 m,最低点的海拔仅有1 340 m,落差高达2 488 m,两侧山坡坡度大都在 50° 以上。

4.2 地质地貌分析

舟曲县属西秦岭地质构造带南部陇南山地,地势西北高,东南低,为高山峡谷地貌。由于不合理的经济发展方式等因素,植被覆盖度逐渐减少,土地裸露面积增多,此外,在泥石流发生时舟曲县正在进行“5·12”汶川地震灾后重建中,防汛工程本身成了这次泥石流物质的来源之一,也就暴露出了工程建设中的一些不合理因素,如在汛期施工,搬运沟口崩塌体堆积大石块作为建筑石料,导致降低了崩塌堆积体的稳定性等。

舟曲县处于北西走向的区域性挤压断裂所夹的断块之中,地质活动强烈,走向断层发育,构成西北—东南向断裂带,该断层横穿于泥石流堆积区,与三眼峪沟沟谷走向斜交,断裂带宽500~1 000 m,受其影响,三眼峪沟沟口至白龙江两岸由中泥盆统古道岭组组成的岩组,岩体裂隙发育,软硬相间,风化强烈,整体十分破碎。

图4是国家减灾委员会2010年8月制作的舟曲地质灾害隐患点分布图。从图中可以看出,共有特大型地质灾害隐患点4个,大型地质灾害隐患点36个,其中在舟曲县城附近分布相

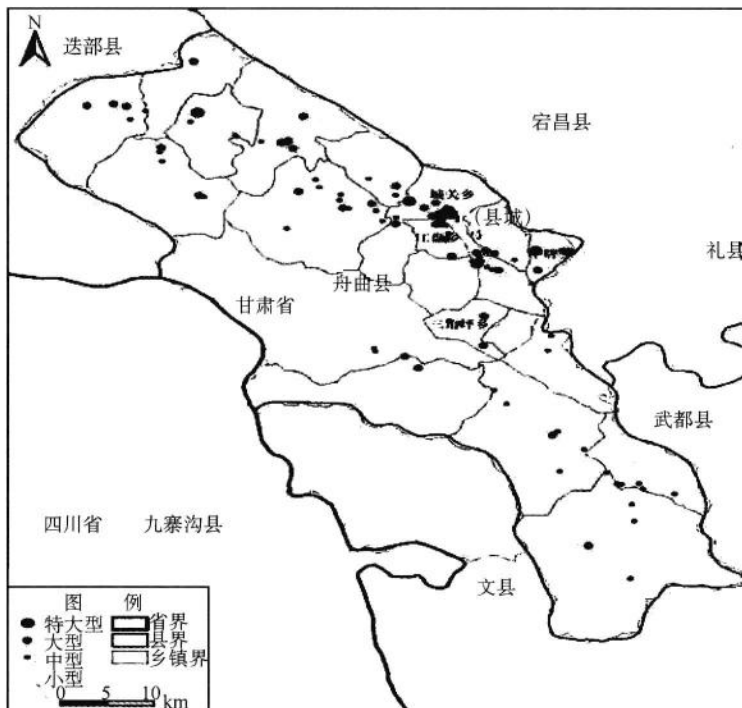


图4 甘肃省舟曲县地质灾害隐患点分布图

对密集,仅县城周边沿白龙江两岸长不足 6 km 的范围内,就分布有锁儿头滑坡、南山滑坡及寨子沟、硝水沟、龙庙沟、三眼峪沟、罗家峪沟、南峪沟等二十多处重大地质灾害隐患点,整个县城处于地质灾害包围之中。随着经济的快速发展和人口不断增长,城区不断向北侧诸多泥石流沟内及南北两山山地发展,防灾形势十分严峻。

4.3 地质地貌影响因子

4.3.1 崩塌、滑坡、危岩体

从总体上看,崩塌、滑坡的形成、发展归结于特殊的地质环境和强烈的内外动力地质作用。舟曲受区域性地质构造的影响,各种构造相互交错而将岩体切割成碎裂块状;新构造运动强烈,地壳隆升(马东涛,1997;颜长珍,2010;畅易峰,2009),岩坡卸荷裂隙发育,为沟坡岩体崩塌提供了高、陡的临空条件及外动力条件;大气降水的入渗造成坡体物质松动,强度降低;频发的泥石流强烈侧蚀坡体,松动坡脚。这些因素都极利于崩塌、滑坡的发生和危岩体的形成。

4.3.2 地震

大地震会强烈改变地形并且在很长一段时间内影响山坡稳定性(Zhu Jing,2011)。据“5·12”汶川大地震后的初步统计资料显示,震区新增地质灾害点 5 千余处(个),其中崩塌、滑坡、泥石流及不稳定斜坡占地质灾害总数的 97% 以上,特别是在最初 5 年将会比较活跃(Cui P.,2009)。地震后产生的大量松散固体物质在遇到强降水时将会成为泥石流的物质来源(Lin CW,2006;Tang C.,2009)。

舟曲县处在舟曲—武都地震亚带(据甘肃省地震危险区划图),属地震强烈活动区,1990—2008 年发生 4 级以下地震两百余次,其中 2~4 级地震 60 余次,平均每年发生 10 次之多。较大的如 1976 年 8 月 22 日、23 日的松潘大地震,震级 6.7 级,造成舟曲县城部分房屋坍塌,南山、北山等处岩石崩塌;1987 年 1 月 8 日的迭部地震,震级 5.9 级。另外,1960 年地震后的第二年就发生了泥石流,造成 28 人死伤,冲毁公路 100 余米,中断交通 40 余天(余斌,2010;杨麒麟,2010)。

2008 年 5 月 12 日,四川汶川发生 8.0 级特大地震,图 5 为这次地震烈度分布图,舟曲处于汶川地震烈度Ⅶ度区的边缘,其中震中烈度达Ⅺ度。这次地震使得舟曲成为重灾区之一,导致的其中一个很大的影响是对舟曲的地质造成了巨大的破坏作用,地震的强烈活动直接破坏了区内岩体结构和坡体稳定性,导致周边山体松动、岩层破碎、岩石裂隙增加,造成境内多处滑坡、崩塌。为泥石流的发生提供了丰富的固体松散物质,构成了物质来源,埋下了巨大的隐患。并且据舟曲县地震台监测,目前该区地震处于活跃期。

4.3.3 人为活动的影响

人类活动对舟曲的地质环境产生了极大的影响。舟曲县地少人密,随着经济社会发展和人民群众生活水平的提高,当地对自然资源的需求更加旺盛,人为因素极大地破坏了地质地貌。从图 6 可以看出,一方面是,植被覆盖不断减少,尤其是在山脚,有大量建筑物,人为掠夺式砍伐,建筑采薪,挖坡种地,导致大面积山体裸露,而据记载历史上该沟内林木茂盛,植被良好,是舟曲县主要木材区之一;另一方面是,人类在沟口开拓农田,以及在沟两侧修建了密集的民房,这些人类活动使得三眼峪沟的沟道被挤占,过流断面不足。这两点从公布的 NASA 图片上也可以看出。自然环境的破坏使得崩塌、滑坡等地质灾害频发,泥石流规模也随之不断增大。



图5 2008年5月12日汶川8.0级特大地震烈度分布图



图6 舟曲县城附近地形

5 气候特征分析

5.1 历史气候特征分析

舟曲县地处欧亚大陆腹地,由于地形复杂,高差悬殊,气候有明显的垂直变化。海拔较低的河川地带,气候温和湿润,高山地带则较为寒冷,春季温暖回升快而稳,秋季温凉阴雨多,属温带季风区。舟曲年平均气温 13.4°C , 年均降水量 425.6 mm , 降水最多年份 1993 年 579.1 mm , 比平均降水偏多 36.1% , 降水最少年份 1996 年 303.4 mm , 比平均降水偏少 28.7% 。图 7 为舟曲县月平均降水、蒸发和气温的逐月分布图,可以看出舟曲降水主要集中在 5—9 月份,约占全年降水的 80% 左右,而蒸发量大约只占到全年的 50% ,表明 5—9 月降水与蒸发之比相对较高,土壤湿润,遇到降水不能涵养水分,易形成径流冲蚀地貌,说明地质灾害发生的可能性较大。气温变化符合自然规律。

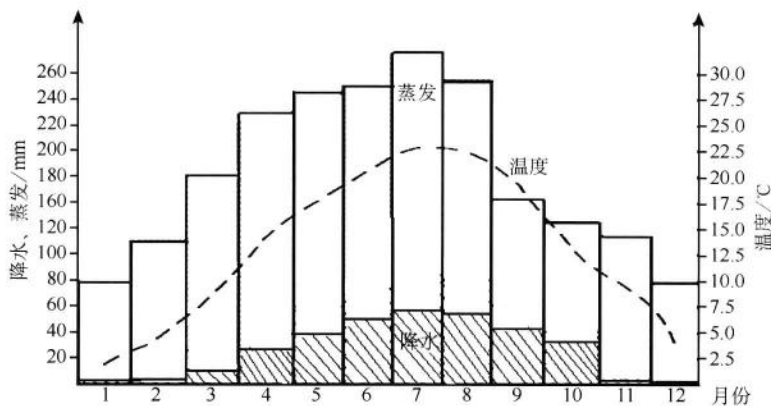


图 7 舟曲县历年逐月降水量、蒸发量和气温变化图

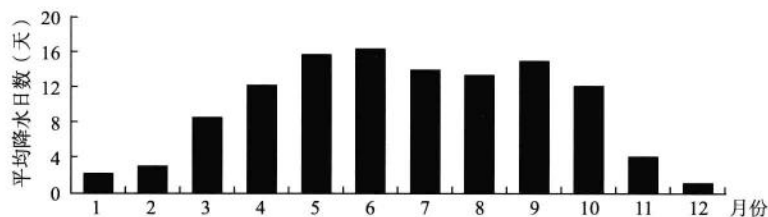


图 8 舟曲县历年逐月平均降水日数分布图

从图 8 可以看出,降水日数的分布在 6 月之前呈现出逐月增加的趋势,然后 8 月、9 月减少 1~3 天,9 月增加,之后又逐渐减少。综合分析图 7 和图 8 可以看出,降水最多的 7 月降水日数并不是最多的,说明过程雨量较大,8 月也可得到类似结论。

1972 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日,舟曲县气象站纪录到日降水量大于 45 mm 的降水 4 次,其中 3 次出现在 8 月上旬后期,仅出现过两次暴雨天气,分别出现在 1973 年 7 月 12 日和 1994 年 8 月 8 日,降雨量分别达到 57.2 mm 和 63.3 mm 。7 月和 8 月共出现大雨(日降

水量大于 25 mm)以上天气过程 32 次,图 9 为 7 月和 8 月的大雨次数逐旬统计,可以明显看出 7 月下旬和 8 月上旬的大雨日数明显高于其他时间段,占到总次数的 53%,而又以 8 月上旬最多,达到 9 次。综合大于 45 mm 降水、暴雨、大雨发生时间的统计,可以看出这次暴雨的发生是符合历史统计规律的。

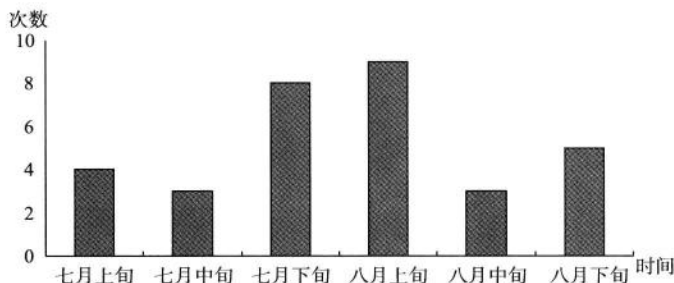


图 9 7 月和 8 月各旬出现的大雨次数统计

综合图 7、图 8、图 9 可以看出,7 月和 8 月降水频繁,过程降水量大,尤其 8 月上旬是强降水高发期,一些研究表明(刘传正,2005)降水是激发泥石流的重要因素,二者之间存在很好的相关性,说明 7 月、8 月对地质灾害的严密防范也就显得更为重要,要密切关注强降水可能引发的次生地质灾害。

5.2 月季气候特征研究

副热带高压是副热带地区最重要的大型天气系统之一。它的活动,不但对中、低纬地区的天气变化起着极为重要的作用,而且对中高纬度地区的环流演变也有很大的影响。夏季位于太平洋西部对流层中低层的西太平洋副热带高压直接影响着我国天气(陶诗言,2006;吴国雄,2003)。表 1 为 1971—2000 年逐年 7 月、8 月份平均值和今年 7 月、8 月的特征量对比。

表 1 西太平洋副热带高压历年 7 月、8 月平均特征值与 2010 年 7 月、8 月特征值的比较

副高特征量	面积指数	强度指数	脊线(°N)	北界(°N)	西伸脊点(°E)
7 月平均	22	40	25	31	124
2010. 07	42	112	25	33	95
8 月平均	19	32	26	32	123
2010. 08	46	125	32	38	90

由表 1 可以看出 2010 年 7 月、8 月副高明显异常于常年,面积指数和强度指数几乎达到历史平均值的 2 倍,西伸脊点也偏西 29°,表明 2010 年西太平洋副热带高压明显偏强。全球气候变化,大气环流异常导致极端天气事件频发。从全国范围来看,2010 年 7 月全国平均气温为 22.8℃,比常年同期(21.4℃)偏高 1.4℃,为 1961 年以来最高;甘肃中部和西北部等地降水偏少 3~8 成,部分地区偏少 8 成以上(王文东,2010)。

舟曲 2010 年 1 月至 7 月降水 143.1 mm,仅为历史同期平均值(245.5 mm)的 58.3%,甚至低于历史同期最低值。图 4(a)是舟曲历年平均和 2010 年逐月降水量对比图,可以看出,2010 年 8 月以前的降水除 3 月份外,其余月份明显低于历史平均值,特别 7 月份,历史 7 月份平均降水为 72.0 mm,2010 年为 53.4 mm,较常年同期偏少 28%,显著异常于常年。图 4(b)

是历年和2010年逐月降水占前8个月的百分比对比图,可以看出舟曲1—6月除3月外降水所占百分比偏小,7月基本持平,而8月降水偏多的特点。图4反应了舟曲在月季气候上降水偏少,进一步从具体日降水量上看,自2010年7月26日至8月8日强降水发生只有8.3 mm降水,远不能解决前期土地干旱的状态。舟曲前8个月的降水反映出了“前干后湿”的特点,为这次特大泥石流留下了巨大的隐患,所以从气候上讲这次泥石流的发生具有一定必然性,此外在前期降水偏少的背景下发生特大泥石流灾害也显著不同于以往泥石流的气候背景,以往的大多表现出前期降水比较充沛。

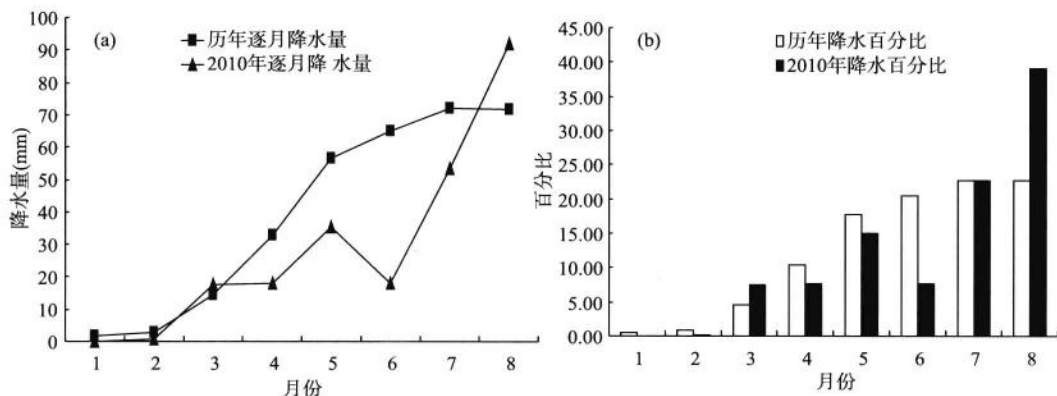


图10 舟曲历年平均和今年前7个月的降水对比和百分比对比图

6 结论与讨论

地质灾害的发生具有隐蔽性、突然性,有其自有的规律(王慧,2004)。三眼峪沟发生特大泥石流灾害自然也有其固有的规律,流域内陡峻的地形、丰富的固体松散物质使该沟具备泥石流形成的良好条件,而前期汶川地震、干旱气候及人为影响等成为泥石流发生的重要影响因素,极端强降水成为泥石流的触发因子。

(1)舟曲处在北西走向的区域性挤压断裂所夹的断块之中,断层及构造裂隙发育,岩体破裂,岩坡陡峻,以崩塌、滑坡及沟道堆积物质为主的固体松散物质十分丰富;此外汶川地震还直接影响到斜坡稳定性,降低了流域内已有危岩松动体的稳定性,使松散物质累积速率不断提高,为泥石流形成发育提供了十分有利的地质环境。

(2)三眼峪沟流域相对高差较大,山势陡峻挺拔,坡陡谷深,沟壑密集,沟床纵比降大,极利于降水在短期内汇集,使坡面水流和支沟汇流迅速获得能量在主沟道集中。而沟口扇形地开阔平坦,纵比降较大,自然成为大规模泥石流物质宣泄的场所。成为了泥石流形成良好的地形条件。

(3)人类活动导致大面积山体裸露,环境恶化、生态失调、天然承载力下降,加剧了水土流失和泥石流活动;此外在沟内修建的拦挡坝存在一些不合理的工程行为。也在一定程度上促进了本次特大泥石流灾害。

(4)舟曲县2010年前期降水持续偏少,受到不同程度干旱,导致岩土体干缩,裂隙扩展,特别是碎石土表层松散干裂,裂隙发育,极利于降雨快速入渗,松散物质易被坡面径流侵蚀而汇

入主沟道,成为泥石流物质来源。

(5)超历史极值的极端强降水激发了这次泥石流灾害。极端降雨直接冲蚀陡壁地段部分危岩松动体、斜坡上的积层松散物质及泥沙,大量汇聚了固体松散物质,使主沟道泥石流的规模和峰值快速升级,从而形成大规模泥石流冲出沟外。

这次泥石流带给我们巨大的损失,但同时也引发我们关于地质灾害更多的思考。这次泥石流表现出了多因素的耦合作用,是在多种条件下发生的一次特大地质灾害。这次泥石流警示我们,首先,要对地质地貌做好调查,尤其是在山区的城市选址、工程建设都要优先考虑地质结构问题;其次,由于泥石流发生的临界雨量或临界雨强,实时山洪灾害预报、预警业务中诊断山洪灾害是否可能发生并及时采取相应预防措施的关键性指标(吴红,2005)。因此,定量的天气预报可为泥石流等气象衍生灾害防范提供可靠依据;积极确定前期降水量对泥石流发生的贡献值,从气象角度做好防灾减灾工作;应当注重可持续发展,尤其是在目前西部大开发的背景下,特别要注意对生态环境的保护。

参 考 文 献

- 白学文,段旭,解福燕,等. 2008. 玉溪滑坡泥石流与降水关系及气象预警预报研究[J]. 云南地理环境研究, 20(4):20-26.
- 畅益锋,李仁华. 1999. 白龙江泄流坡滑坡变形特征及成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 10(1):93-95.
- 崔鹏,杨坤,陈杰. 2003. 前期降雨对泥石流形成的贡献(以蒋家沟泥石流形成为例)[J]. 中国水土保持科学, 1(1):11-15.
- 崔鹏,杨坤,陈杰. 2003. 前期降雨对泥石流形成的贡献(以蒋家沟泥石流形成为例)[J]. 中国水土保持科学, 1(1):11-15.
- 高速,周平根,董颖等. 2002. 泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析[J]. 工程地质学报, 10(3):279-283.
- 国土资源部. 2007. 全国地质灾害通报[R].
- 国土资源部. 2008. 全国地质灾害通报[R].
- 国土资源部. 2009. 全国地质灾害通报[R].
- 李德基,张德华. 1994. 四川省宁南县城后山泥石流激发雨强[J]. 山地研究, 12(1):15-19.
- 林孝松,郭跃. 2001. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 16(2):87-92.
- 刘成,徐刚. 2006. 坡面泥石流活动与降水之间的关系初探——以重庆北碚地区为例[J]. 水文地质工程地质, 4:94-97.
- 刘传正,温铭生,唐灿. 2004. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, 2:303-309.
- 马东涛,祁龙. 1997. 三眼峪沟泥石流灾害及其综合治理[J]. 水土保持通报, 17(4):26-31.
- 孙伟,高峰. 暴雨型泥石流预报中的降水因子[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12):6287-6288, 6433.
- 陶诗言,卫捷. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳[J]. 应用气象学报, 2006, 17(5):513-525.
- 田冰,王裕宜,洪勇. 2008. 泥石流预报中前期降水量与始发日降水量的权重关系——以云南省蒋家沟为例[J]. 水土保持通报, 28(2):71-75.
- 铁永波,唐川. 山区城镇泥石流灾害风险控制模式探讨[J]. 灾害学, 2008, 23(3):10-14.
- 王慧. 长白山天池地区泥石流形成条件及危险度研究[D]. 吉林大学. 2004.
- 王文东. 2010年7月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2010, 36(10):122-127.
- 王裕宜,田冰,詹钱登等. 不同权重的前期和始发日降雨量与泥石流产沙规模的分析——特大型泥石流灾害发生的思考[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(1):32-38.

- 韦京莲,赵波,董桂芝.1995.北京山区泥石流降雨特征分析及降雨预报初探[J].北京地质,1:12-161.
- 吴国雄,丑纪范,刘屹崑,等.2003.副热带高压研究进展及展望[J].大气科学,27(4):503-517.
- 吴红,邵亮,陆登荣.2005.兰州市区地质灾害与暴雨强度[J].干旱气象,23(1):63-67.
- 吴平,郑文晓.2008.泥石流的形成条件及其防治措施[J].西部探矿工程,3:04-05.
- 谢洪,钟敦伦,韦方强,等.2006.我国山区城镇泥石流灾害及其成因[J].山地学报,24(1)79-87.
- 颜长珍,沈渭寿,宋翔等.2010.生态环境变化对舟曲“8·8”特大山洪泥石流发生的影响分析[J].水土保持学报,24(6):258-262.
- 杨麒麟,高甲荣,王颖.2010.泥石流灾害对策分析——以甘肃舟曲“8·7”特大山洪泥石流灾害为例[J].中国水土保持科学,8(6):19-23.
- 余斌,杨永红,苏永超.2010.甘肃省舟曲8.7特大泥石流调查研究[J].工程地质学报,18(4):437-444.
- 余峙丹,张辉,郭荣芬.2010.云南楚雄特大滑坡泥石流气象成因[J].气象科技,38(1):136-140.
- 张国平,许凤雯,赵琳娜.2010.中国降水型泥石流研究现状[J].气象,36(2)81-86.
- B. F. DI, N. S. CHEN, P. CUI, *et al.* 2008. GIS-based risk analysis of debris flow: An application in Sichuan, southwest China[J]. *International Journal of Sediment Research*, 23:138-148.
- Cui P., Zhu Y. Y., HAN Y. S., *et al.* 2009. The 12 May Wenchuan earthquake-induced landslide lakes: Distribution and preliminary risk evaluation[J]. *Landslides*, 6:209-223.
- He Shanfeng, Ge Quansheng, Wu Shaohong, *et al.* 2010. Projecting Spatial Patterns of Flood Hazard: Recent Climate and Future Changes over Yangtze River Basin[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 8(3):83-88.
- Lin CW, Liu SH, Lee SY, *et al.* 2006. Impacts on the Chi-Chi earthquake on subsequent rain-induced landslides in central Taiwan[J]. *Engineering Geology*, 86(2-3):87-101.
- Milly P C D, Wetherald R T, Dunne K A, *et al.*, 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate [J]. *Nature*, 415: 514-517.
- Sun Ping, Zhang Yongshuang, Shi Jusong, *et al.* Analysis on the Dynamical Process of Donghekou Rockslide-Debris Flow Triggered by 5·12 Wenchuan Earthquake[J]. *Journal of Mountain Science*, 2011, 8:140-148.
- Tang C, Zhu J, Li WL. 2009. Rainfall triggered debris flows after Wenchuan earthquake[J]. *Bull Eng Geol Environ*, 68:187-194.
- Zhu Jing, Ding Jun, Liang Jingtao. 2011. Influences of the Wenchuan Earthquake on Sediment Supply of Debris Flows[J]. *Journal of Mountain Science*, 8:270-277.

舟曲特大泥石流短时强降水过程分析

吉惠敏,王宝鉴,程 鹏,狄潇泓,傅 朝

(兰州中心气象台,兰州,730020)

摘 要:本文利用常规资料,从大尺度环境场、物理量场特征、中尺度特征分析等方面综合分析了2010年8月8日凌晨发生在甘肃省舟曲县的特大山洪泥石流灾害的气象成因。过程发生前,08时甘肃南部处于500 hPa 青藏高压副热带大陆高压中,高空锋区偏北;高原及西北区东部暖区强盛,大气垂直层结稳定,对流抑制较强,能量充分积聚;20时沿青藏高原东侧高空有冷平流侵入,使大气层结转为不稳定;地面切变线触发强迫抬升运动,突破对流抑制,引发短时局地强降水。

关键词:强降水 对流抑制 地面切变线

1 灾害背景灾情与天气实况

舟曲县城地处亚洲第一滑坡和泥石流多发地带,白龙江穿城而过,境内多高山深谷,地形起伏强烈,岩体破碎;年平均降水量为434.0 mm,年平均气温为13.1℃,8月平均降水量为74.7 mm,8月平均气温为22.7℃。20世纪90年代,舟曲县发生过5次重大地质灾害,其中1992年致87人死伤。

2010年8月7日23时许(甘肃日报10月9日头版),甘肃省甘南州舟曲县突降短时局地强降水,引发特大泥石流灾害,造成1478人遇难,287人失踪。

从这次过程的6小时及1小时雨量分布图上看(图1),降水呈明显对流性质:降水时间短、强度大、空间分布不均。7日22时—8日08时,舟曲县降水量12.8 mm,而县城以东约10 km的东山镇(白龙江流域,在县城下游)降水量达96.3 mm,其中23—24时,1小时降水量达77.3 mm(见图2)。



图1 7日20时—8日02时6小时雨量分布



图2 7日23时—24时1小时雨量分布

2 天气学分析

2.1 环流背景分析

8月7日20时,500 hPa 欧亚中高纬度为一脊一槽环流形势,亚洲长波槽位于 105°E 附近,底部有短波槽分裂东移到内蒙中部—陕西关中附近,我国中纬度地区为副热带大陆高压带控制,大陆暖高压中心位于青海。受西风槽东移南压和东风波倒槽共同作用,高压带在 110°E 附近明显变窄。甘肃南部处于青藏高原高压前部的西北气流中(图3)。从降水实况的分析来看,降水具有很强的局地性,影响系统应为中小尺度系统;从天水雷达及卫星云图的监测显示,对流云团的范围大约 $40\text{ km} \times 20\text{ km}$,属于中 γ 尺度(陈渭民等,2003)。

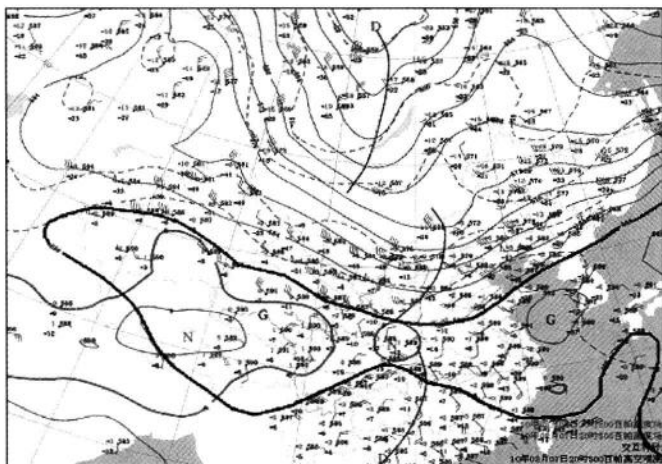


图3 8月7日20时500 hPa 环流形势场(加粗为588线)

2.2 水气条件

水汽条件分析结果表明,甘肃省偏南地方湿度条件好。7日08时至20时四川东北部到陇南为相对湿度大于90%的高湿区;08时水汽通量散度甘肃南部到中部为辐散区,20时四川北部到舟曲及陇南转为弱的水汽辐合区(图4)。

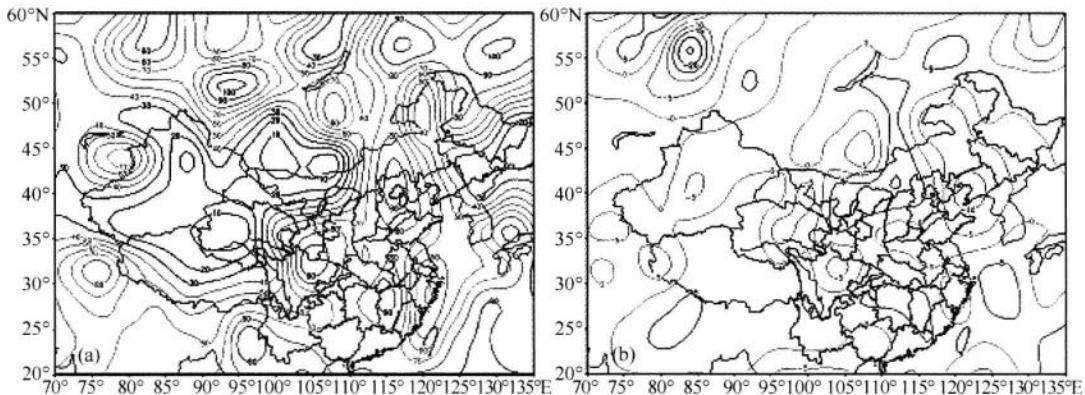


图4 2010年8月7日20时700 hPa 相对湿度(a)和700 hPa 水汽通量散度(b)

2.3 中尺度分析

从中尺度分析来看,8月7日08时,地面上甘肃省为24小时正变压区,500 hPa和200 hPa急流位于 40°N 。500 hPa河西到青海西北部为干区,四川盆地到甘肃南部为湿区,甘肃河东处在底层切变、干湿交汇处,且南部低层水汽条件较好,有利于对流性天气的发生(图5)。

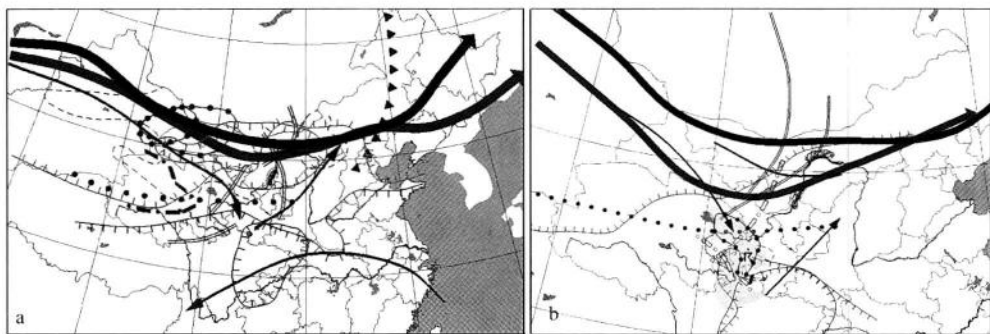


图5 8月7日中尺度综合分析图
(a. 08时;b. 20时)

20时地面图上,甘肃定西、临夏、甘南(除舟曲)、青海东部有雷暴发生,有一个 $\Delta T_{24} < -4^{\circ}\text{C}$ 的显著降温区与雷暴区相配合,迭部与舟曲之间有风向切变,舟曲以西有一条西北—东南向的干线,此时舟曲 Δp_3 达2.2 hPa。500 hPa急流在河西气旋性曲率加深,槽线在内蒙古中部到武威,四川盆地到甘肃省南部为由早晨的湿舌转为干舌,舟曲处在其中,中层干层的出现和存在有利于对流有效位能在中高层的产生、积聚和释放,从而导致强的对流上升运动,为强降水的发生提供了条件(寿绍文,2009)。700 hPa甘肃省大部处在 12°C 以上的暖区中,四川到陇南、甘南为湿舌,河东处在显著西南气流中,河西东部到青海东部有干线,槽线在河套北部到河西东部。综合分析,甘肃河东大部分地方高层为辐散区,低层存在切变线辐合,中低层有干空气侵入,有利于出现短时强对流天气(图5)。

2.4 不稳定能量

08时,甘肃南部处在假相当位温高能舌中,陇南、舟曲K指数大于 30°C ,20时假相当位温

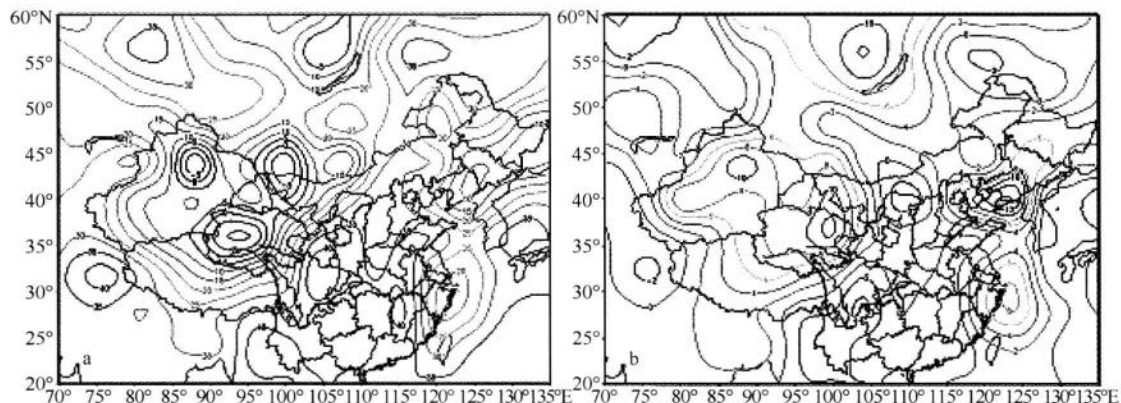


图6 2010年8月7日20时对流参数
(a. K指数;b. SI指数)

高能舌东移扩展到舟曲, K 指数达到 40°C 。但 7 日 08—20 时我省大部分地方处在沙氏指数正值(稳定)区域内(图 6)。可见大气的热力条件非常好, 但 20 时之前层结不稳定条件较差。

舟曲最靠近的探空站为武都。从武都的探空曲线图可以看到(图 7), 08 时武都上空层结稳定, 沙氏指数大于 0°C , 只有 400 hPa 以上有不稳定能量, CAPE 值不大, 为 14.7 J/kg , 而对流抑制为 632.2 J/kg 。20 时大气变得极不稳定, 沙氏指数变成负数, 武都上空几乎整层不稳定, CAPE 值达到 757.7 J/kg , 而且风垂直切变明显, 300 hPa 以下风向随高度顺转, 风速先减小后增大, 300 hPa 以上风向随高度逆转, 风速随高度增大, 这表明武都上空, 中低层暖湿不稳定, 配合高层偏北气流下干冷空气入侵, 激发、增强了不稳定能量的释放, 有利于产生强对流天气。

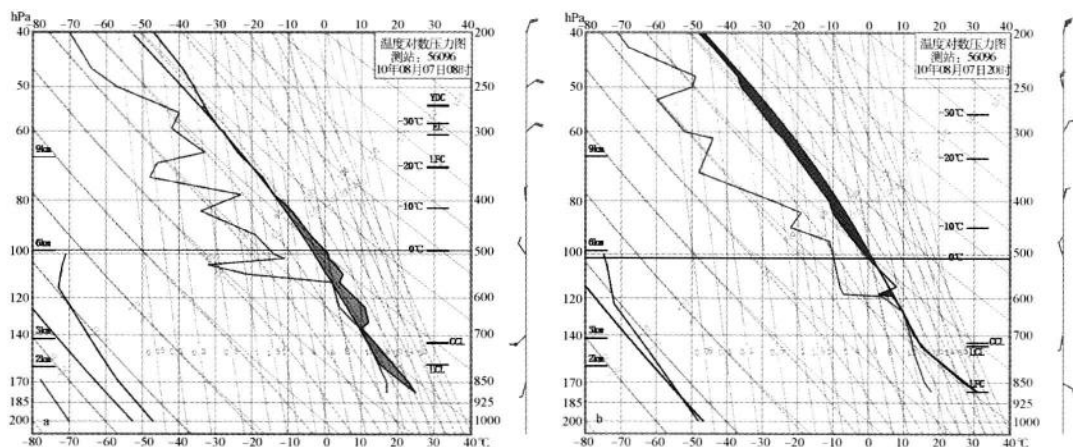


图 7 8 月 7 日武都 T - $\ln P$ 图

(a. 08 时; b. 20 时)

2.5 抬升触发机制

此次过程发生前, 从 08 时高空监测信息来看, 大气层结稳定, 由于对流抑制较强, 使得对流不稳定能量得以聚集; 到 7 日晚上 20 时, 整层大气不稳定; 同时随着西风槽东移, 高空锋区有所南压, 对流层中上层沿着青藏高原东侧有冷平流侵入, 低层 700 hPa 青藏高原切变线和地面切变快速东移, 地面切变线触发上升气流突破对流抑制, 引发不稳定能量在夜间突然释放, 造成局地强对流天气。

2.6 预报技术难点

(1) 系统突发性强。过程发生前, 500 hPa 高原主体为暖高压控制, 甘肃南部处于副热带大陆高压带中, 高空锋区偏北。08 时, 高原及西北区东部暖区强盛, 中低层高湿, 大气垂直层结稳定, 对流抑制较强; 到夜间 20 时, 大气垂直层结突变为整层不稳定, 同时由于地面切变线的快速东移及中层干侵入, 使得不稳定能量突然释放, 造成局地强对流天气。而从降水实况分析来看, 舟曲县东山镇降雨集中发生在 7 日 23 时至 24 时, 之前的降雨量每小时仅为 1 mm 左右, 到 23 时至 24 时猛增到 1 小时 77.3 mm , 之后的降雨量迅速减小; 迭部县代古寺由 7 日 20 时之前的无雨突然增至每小时 55.4 mm , 之后降雨明显减弱, 降水的突发性强, 预报反应时间有限。

(2)系统尺度小,局地性强。从降水实况分布看,舟曲县降水量 12.8 mm,而县城以东约 10 km 的东山镇降水量达 96.3 mm。而舟曲周围缺乏有效的监测工具,舟曲处于天水雷达有效探测范围(天水雷达为 C 波段,有效探测距离为 150 km)的边缘;而且舟曲地处山谷盆地(1400.9 m),受周围高山阻挡影响,只能从天水雷达回波上看到高仰角的信息,给强降水的短时临近监测带来很大困难。另外,甘南州面积为 4.5 万 km²,灾前共有 49 个自动气象站,平均站距约为 60 千米,难以对局地尺度的突发强降水实现有效的监测区域站分布;从物理量场诊断,物理量的分布与量级上,难以直接预报降水的范围与量级,仅从卫星云图也很难确定强降水的落区,因此强降水的落区是此次预报的难点。

(3)高原边坡地带对流局地性强,预报难度较大。历史上 8 月份舟曲出现暴雨的概率极低(舟曲自 1972 年建站至 2009 年,8 月份超过 40 mm 的降水仅出现过 3 次),因此预报难度较大;以后应加强对于高原边坡地带局地强对流天气的技术总结,以丰富预报经验。

3 短时临近监测及预警信号发布

从 7 日下午 17 时的地面实况及卫星云图、WS 报监测显示,有对流云团发展,我省河东局部地方有雷电发生,因此值班台长决定值守班,首席、值班台长、主班一直坚持在一线。20 时,通过 WS 报的监测,发布了甘肃省雷电黄色预警信号(图 8):预计未来 12 小时,甘南、临夏、定西、白银、平凉、庆阳等州市部分地方有雷电,并伴有雷阵雨和短时阵性大风。

20 时 30 分收到最新的高空和地面资料后,经过中尺度分析及卫星云图分析后,预计我省偏东偏南的地方有强降水发生,因此于 21 时 30 分发布了甘肃省暴雨黄色预警信号(图 8):预计未来 12 小时内,临夏、定西、白银、陇南、天水、平凉、庆阳等州市有阵雨或雷阵雨,局部地方可达暴雨,请有关单位及时采取防范措施。没有给甘南发预警主要是考虑此次强降水落区偏东偏南,甘南仅舟曲有可能,因此电话指导甘南州局发布预警。

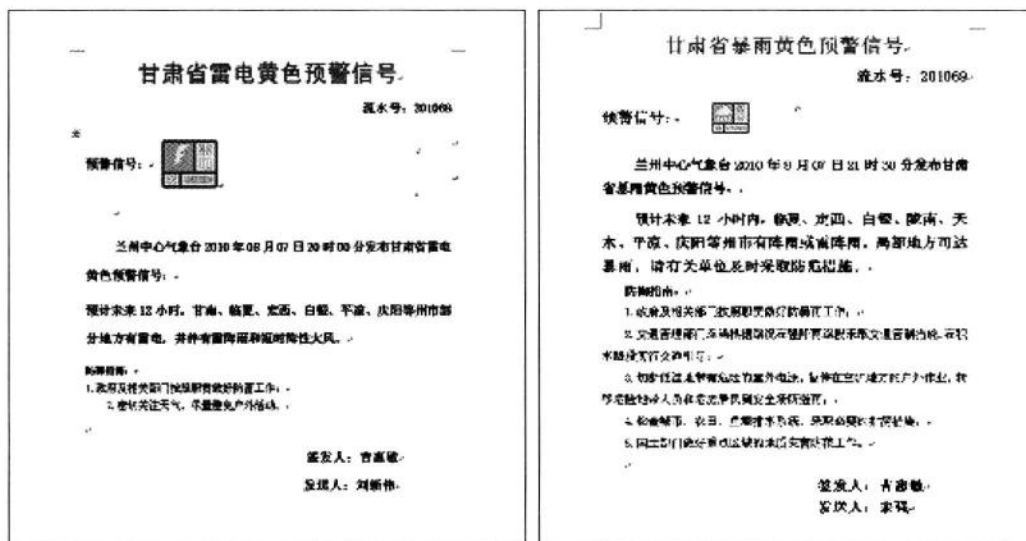


图 8 8 月 7 日发布的预警信号

4 存在的不足及下一步工作打算

4.1 在此次预报服务中,暴露出了以下不足

4.1.1 短时强降水预报能力不足

在本次预报服务中,暴露出对中小尺度天气的监测预警及预报能力不足。对于强降水的落区预报不准,发暴雨预警时没有包含在内;对强降水的量级考虑偏小;由于对量级考虑偏小,没有发布地质灾害预报。而对短时强降水的预报能力不足,一是缺乏有效的监测工具支撑,二是缺乏科技支撑,如对短时强降水方面的研究不足。

4.1.2 业务流程不完善

缺乏完整合理的短时临近监测预警流程,之前的流程侧重于单方面的信息,如区域站雨情或雷达回波等实况信息,值班预报员在看到区域站较大雨情时,先忙于核实雨情;缺乏一个集中尺度分析、卫星云图、区域站雨情、雷达回波等监测工具的综合分析、监测预警流程。

4.1.3 灾情上报不及时

在灾害发生后,我们先忙于核实灾情再上报。舟曲县局收集气象灾情主要依靠政府相关部门和乡镇协理员、信息员,未建立自己独立的灾情收集渠道,灾害发生后,由于当地通信中断,导致灾情收集和上报困难,对灾情的发生难以确认,导致灾情上报不及时。

4.2 针对以上问题和不足,我们采取了以下改进措施

4.2.1 加强短时临近监测预警,及时发布预警信号

结合业务流程试点调整,优化完善省、市、县三级的短时临近监测预警流程,改变以往单靠中心台监测预警的模式,提高对于突发性天气的短时临近监测预警;同时新布设了部分区域站,加大了区域站的覆盖密度,加强省、市、县三级对于区域站雨情的监测,及时发布预警信号,市县做好订正服务。中心台进一步完善中尺度天气的分析业务,发布潜势预报。

4.2.2 优化细化业务流程

通过此次预报服务过程中暴露出流程不够完善的问题,我们优化细化了兰州中心气象台短时临近监测预警流程(图9)和应急气象服务流程(图10);使预报员能够清楚发生突发性天气后如何开展预报服务工作,同时细化了应急气象响应启动后的预报服务流程。如在短时临近预警监测流程中,明确了对于区域站1 h雨量超过15 mm该如何处理,什么时候准备发布预警都做了细化;在应急气象服务流程中,包括启动应急响应的条件以及每一级应急响应做相应的预报服务都做了细化,并对预报员进行了流程培训。

4.2.3 完善灾情上报渠道

针对此次过程中暴露出灾情上报不及时的问题,进行了整改,完善灾情上报流程和渠道,收到灾情时,第一时间先向上级单位上报灾情,然后再进行灾情的详细核查;同时加强了对乡镇信息协理员的培训力度,增强灾情的收集上报能力,确保灾害发生后灾情能在第一时间上报。

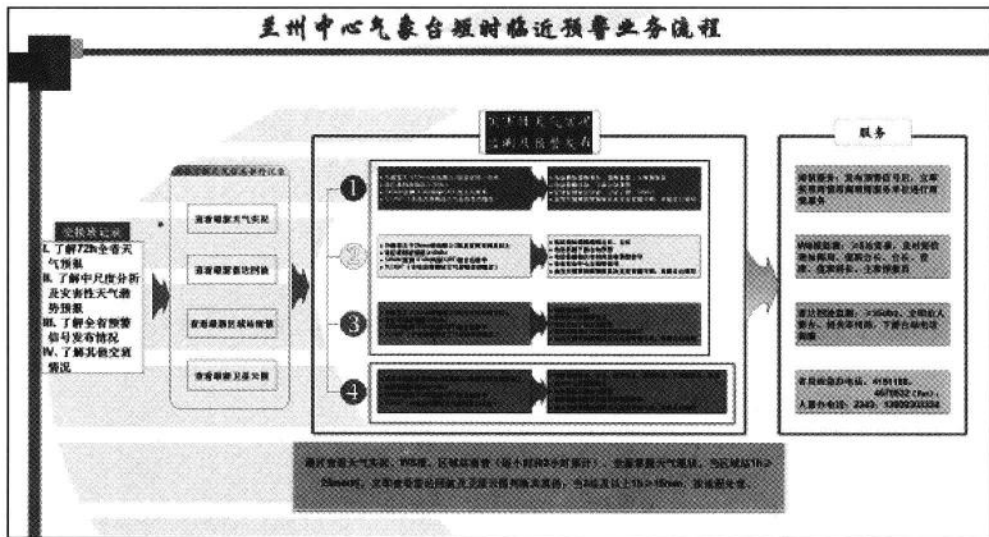


图 10 短时临近预警业务流程

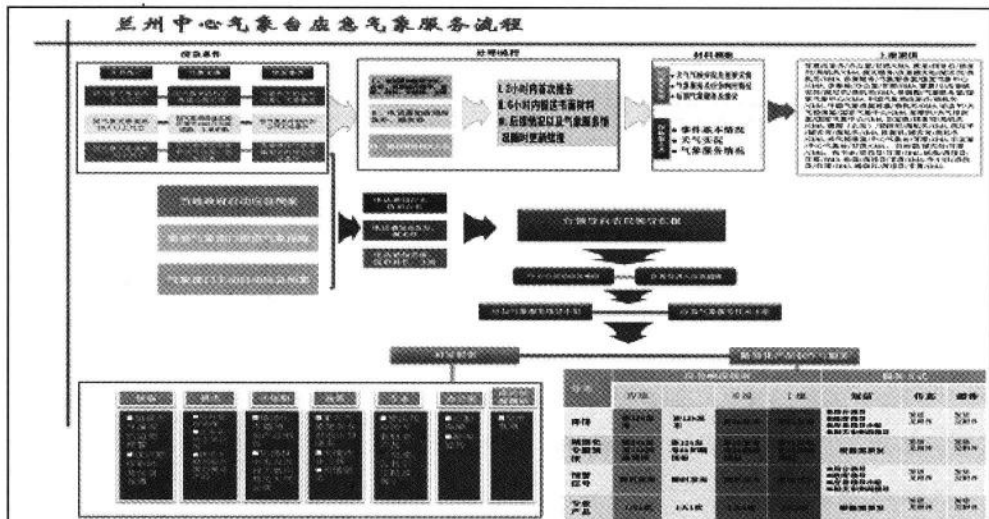


图 11 应急气象服务业务流程

4.2.4 通过科技支撑, 提高短时强降水的预报能力

(1) 通过项目支持, 开展短时强降水及其他强对流天气的中尺度影响系统、特征物理量阈值、预报预警概念模型的总结研究。

(2) 加强预报员对大量历史个例分析(特别是高原边坡的强对流天气), 丰富预报经验。

(3) 初步建立西北区快速同化系统。中尺度数值模式由于其较高的分辨率和较好的物理过程, 对强对流天气的发生、发展的外部“潜势条件”有着比较准确、合理的分析和预报, 对开展基于中尺度数值模式的强对流天气预报分析应用业务将提供强力支持。

(4) 加强部门合作, 提高地质灾害预报能力。“5·12”汶川地震发生前, 我们和甘肃国土资

源部门合作开发了甘肃地质灾害气象预报系统,但受到地震影响,陇南及舟曲的地质结构发生重大变化,国土部门重新绘制了地质灾害区划图,我们应该加强合作,开展地质灾害气象预报技术研究。比如,2010年7月24日21时—25日02时,舟曲东山镇5个小时降水达66.6 mm(00—02时降水51.8 mm),没有发生泥石流灾害,但8月7日6小时降水达96.3 mm,却发生了这么大的灾害,所以地质灾害预报中降水的临界值应通过部门合作来确定。

参 考 文 献

- 陈渭民等. 卫星气象学. 北京:气象出版社. 2003,362.
寿绍文主编. 中尺度气象学. 北京:气象出版社. 2009,249-250.

“8·12”甘肃大暴雨特征分析

许东蓓, 刘 抗, 车玉川, 刘新伟, 程 鹏

(兰州中心气象台, 兰州 730020)

摘 要:2010年8月10—13日,甘肃省河东出现了中到大雨,局地暴雨或大暴雨。这是舟曲山洪地质灾害气象应急响应开始后迎来的第一场区域性大降水过程,对前方救灾抢险工作造成严重威胁。暴雨强度之大、范围之广、持续时间之长,为2010年汛期之最。本文利用实况观测资料和NCEP再分析资料对大暴雨过程的天气特征、水汽条件、动力条件、不稳定条件等进行综合分析,并总结了暴雨过程的中尺度云团特征。结果表明:此次暴雨持续时间较长,但大暴雨出现时段集中,雨强大,危害性强。副高强盛,北部冷空气分裂南下,青藏高原切变线活动频繁,是本次暴雨过程的主要环流特征。500 hPa锋区和700 hPa低涡切变线是造成暴雨天气的直接影响系统。低层正涡度中心、水汽辐合、上升运动、正螺旋度中心以及层结不稳定等因素为暴雨产生创造了热力、动力和能量条件。此次暴雨的触发机制是低层中尺度切变线的发展、偏南暖湿气流的增强,以及低层辐合高层辐散的大气上下层抽吸作用。12日02时到08时甘肃中南部切变线发展加强,最终导致暴雨天气的产生。多个中 β 尺度对流云团沿700 hPa切变南侧发展东移,表明本次大暴雨过程中存在明显中小尺度系统,这是局部地方大暴雨产生的重要原因。

关键词:甘肃 大暴雨 特征 分析

1 引言

暴雨是中国夏季主要灾害性天气之一。每年因暴雨造成的经济损失和人员伤亡均有发生。尽管目前有关暴雨的研究已取得了很多有价值的成果^[1-8],但随着全球气候变暖和气象灾害的频发,对于暴雨发生机制的探讨以及预报技术的总结与改进始终是预报业务一线人员重点工作之一。

2 降水实况

8月10—13日,甘肃武威以东地区普遍出现降水天气,其中河东各地出现区域性中到大雨,局地暴雨,个别乡镇日降雨量达到大暴雨。10日降水中心在临夏、定西、甘南等地,最大降水量为87 mm,出现在临夏州抱罕乡。11日陇南、天水、平凉、庆阳等市部分地方出现中到大雨,局地出现暴雨及大暴雨,其余地区以小到中雨为主。这一天为本次过程最强降水时段,24小时降水量有25个区域站达到暴雨,5个站达到大暴雨。最大降水量出现在天水市李子乡(167.7 mm),另外在陇南黄渚、天水的党川和麦积山、平凉王家坝等站也分别出现了142 mm、159 mm和两个105 mm的降水(图1a)。12日,降水强度有所减弱,暴雨中心位于陇南市汉王

乡,中心最大降水量为 81 mm。13 日甘肃河东降水以小雨为主,局部地方出现中雨。

从李子等站 6 小时降水演变图中可以看出,降水量达到 100 mm 以上的 5 个站降水主要集中于两个时段,其中最为显著的是 12 日 02 时到 08 时,李子乡 6 小时降水量为 167 mm (图 1b)。由此可见,本次暴雨有以下特点:整个降水过程持续时间较长,共历时 4 天,但大暴雨出现时段集中,雨强大,危害性强。

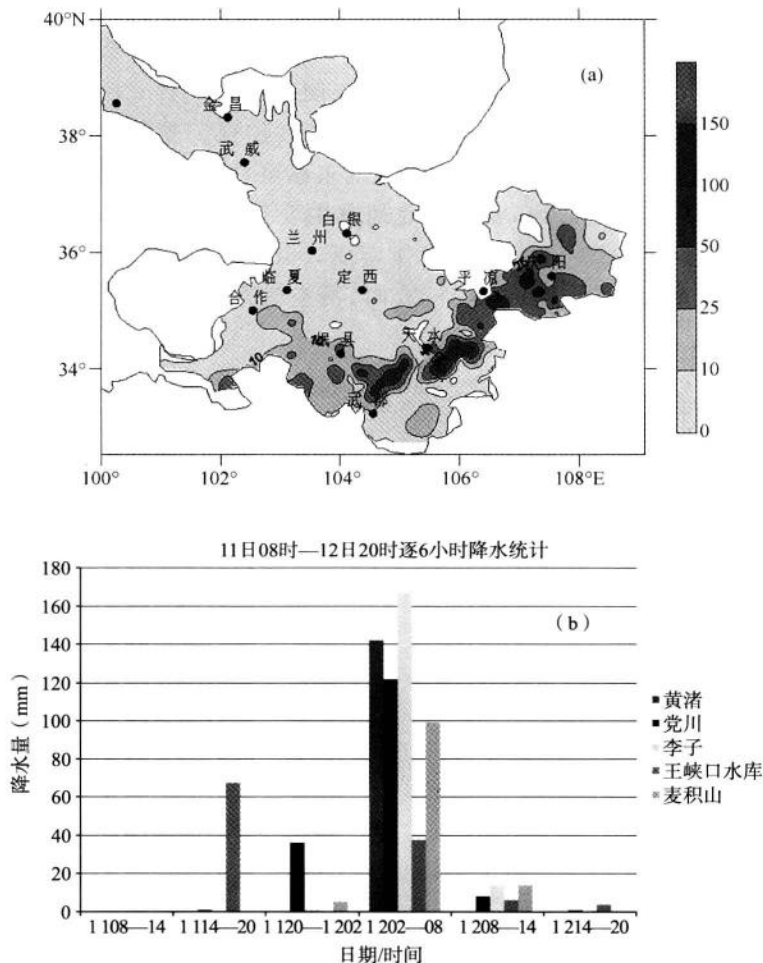


图 1 8 月 11—12 日甘肃省降水实况图

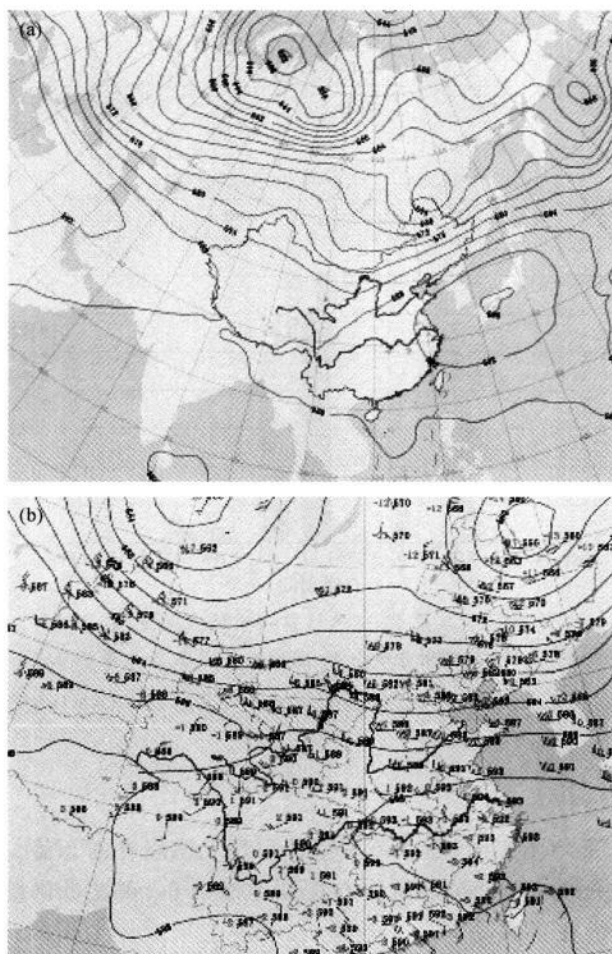
(a. 11 日 08 时—12 日 08 时甘肃降水分布; b. 11 日 08 时—12 日 20 时李子等站 6 小时降水演变)

3 环流形势

8 月中旬 500 hPa 平均图表明,欧亚范围整体呈现北槽南脊的态势。在 40°N 以北为宽广的槽区,黑海到里海之间为低压槽,低压中心在新地岛以东;东北低涡维持,其底部锋区位于 40°N 附近。南部高压带在青藏高原发生断裂,在高原上形成一个槽区;西太平洋副高 588 线贯穿甘肃陇东南地区。由此可见,副高强盛,北部冷空气分裂南下,高原切变线活动频繁,是造

成 8 月中旬甘肃多降水过程的主要环流形势(图 2a)。

在 8 月 10 日 20 时 500 hPa 高空图上,冷槽的主体位于巴尔喀什湖附近,槽前锋区已进入甘肃河西,呈东—西向,同时中国东北有一个冷涡长时间维持。在 40°N 以南,是一个东西向的高压带,副热带高压强盛,外围 588 线西伸至 95°E ,北抬至 35°N ,甘肃中部地区处在副高 588 线附近,青海东部到南部有一条东北—西南向切变线。11 日 08 时,巴湖槽东移进入新疆,河西锋区有所加强,同时副高也处在加强西伸阶段。11 日 20 时,冷槽东移至新疆东部,588 线明显西伸,控制了整个青藏高原。在 588 线内部,沿 592 线外围的偏南暖湿气流加强北上,南、北风之间的辐合区位于青海东南部(图 2b)。12 日 08 时,随着冷空气进一步东移,在蒙古国西部出现冷低压中心,其底部锋区继续加强。受其影响 588 线在青海西部发生断裂并开始南退,偏南气流略有东撤,切变线东移至甘肃中部到南部,有所减弱。12 日 20 时,冷低压东移至贝加尔湖以南,甘肃偏北地方主要受锋区影响,中部地区再度处于 588 线附近。13 日 08 时到 14 日 08 时,锋区迅速南压,588 线南退的过程中逐渐发生断裂,甘肃河东处于冷槽控制中,降水持续。14 日 20 时,冷空气东移,甘肃省处于槽后西北气流控制中,降水基本结束。



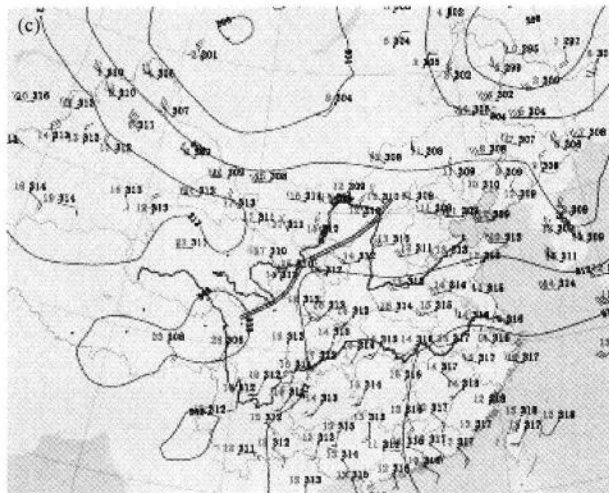


图2 2010年8月中旬500 hPa平均环流场(a)及11日20时500 hPa(b)、700 hPa(c)环流形势

在700 hPa上,10日20时,副高312线位于陕南到关中一带,青藏高原东侧有低涡切变发展东移。到11日08时,低涡位于甘肃中部,312线西伸到甘肃陇东南,偏南暖湿气流明显加强。11日20时(图2c),312线略有北抬,低涡减弱为切变线,但由于其北部有小股冷空气侵入,风向切变增强,影响范围增大,并于12日08时在甘肃河东再次形成闭合的低涡。从11日20时到12日08时,正是此次暴雨过程的最强时段。12日20时到13日08时,切变线基本稳定在甘肃中南部到陕西中南部一带,降水仍然持续。13日20时,随着312线以及偏南暖湿气流南撤,切变东移到甘肃陕西交界处,强度减弱,雨区缩小。14日08时,切变完全东移出去,降水趋于结束。

4 水汽条件

4.1 700 hPa 急流特征

11日08时,偏南风急流中心位于陕西中南部与甘肃陇东南交界处,最大风速为13 m/s。甘肃河东没有明显的风的辐合。11日14时,受北部锋区底部扩散东移的小股冷空气影响,偏南急流位置略向南退,强度有所减弱,最大风速为11 m/s。此时在高原边坡到甘肃中部以及甘肃平凉一带各出现一条东西向的辐合线。11日20时,急流继续减弱,两条辐合线也相应地南移减弱。12日02时,随着北风减弱,副高外围的暖湿气流再度加强,急流带有所西移,急流核主要位于陕南和陇南、天水等地,最大风速达到12 m/s(图3a)。12日08时,急流核向北推进,甘肃中南部出现明显的辐合线。12日14到20时,虽然急流再次减弱,但位于陇东南附近的辐合线继续维持,降水仍然持续,但降水量级逐渐减小,中心南移。

3.2 700 hPa 水汽通量散度特征

11日08时,水汽通量散度负值中心主要位于甘南到临夏一带,过去24小时上述地区出现了明显降水,暴雨中心在临夏。由于偏南急流的减弱,陇东的负散度中心处于减弱阶段,降

水不太明显。11日14时,位于临夏的水汽通量散度负中心加强东移,中心位于四川甘肃交界处,中心最大值为 $-5 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时在水天到平凉有另一个弱的负中心。11日20时,随着辐合线的减弱,水汽通量散度负值区也相应减弱。从12日02时开始,上述两个负值中心再度加强,并于12日08时在甘肃中部形成一个强的负散度中心(图3b),中心值达到 $-5 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。12日02时到08时,陇东南降水大于100 mm的几个站点,均位于负中心的南侧的负散度区内。12日14时,东北—西南向的负散度区基本覆盖了除中部偏北地方以外的甘肃河东大部分区域,此时自陇南的汉王又出现暴雨,依然是在负中心南侧的负散度区域内。12日20时后,水汽通量散度正负中心在甘肃河东交替更迭,各地降水一直持续到14日才宣告结束。

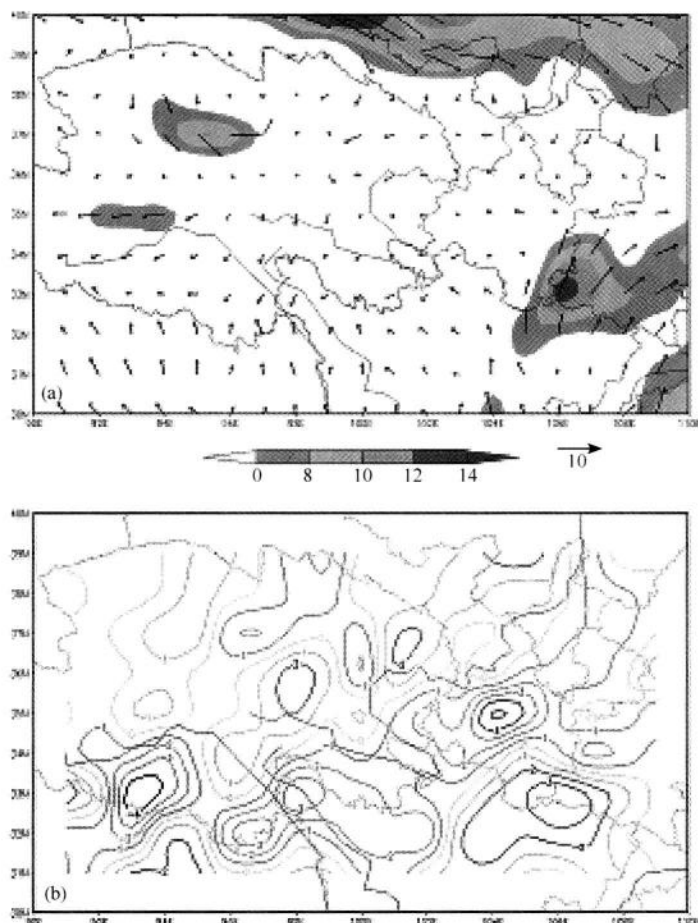


图3 8月12日700 hPa急流(a)及水汽通量散度(b)图

5 动力条件

5.1 涡度场特征

从700 hPa涡度场水平分布图可以看出,11日08时正涡度区位于甘肃中部到南部,在定西

和陇南各有一个中心。11日14时到11日20时,正涡度区范围无明显变化,但强度有所减弱。12日08时,正涡度区主要位于甘肃南部地区,此后甘肃河东主要转为负涡度控制,降水逐渐减小。12日02时,在四川到陕南一带有一正涡度中心发展加强,并向北推进。12日08时影响区域包括位于天水的南部和陇南,正涡度中心达到 30 s^{-1} 以上,此时大暴雨出现。由此可见,11日到13日河东降水过程中,均有不同强度的正涡度中心发展维持,为降水的产生提供了动力条件。

5.2 散度场特征

沿 106°E 做散度垂直剖面图。由图中可以看出,11日08时甘肃东南部在近地面为辐合上升运动层,而从750 hPa直到500 hPa为辐散层。此后陇东南上空辐合辐散中心均有所减弱。12日02时,从四川盆地到甘肃陇南、天水、定西、平凉一带($33^{\circ}-36^{\circ}\text{N}$)低层均为辐合,最大中心在四川,甘肃陇南至天水上空对应另一个辐合上升中心,辐合层主要位于800 hPa到

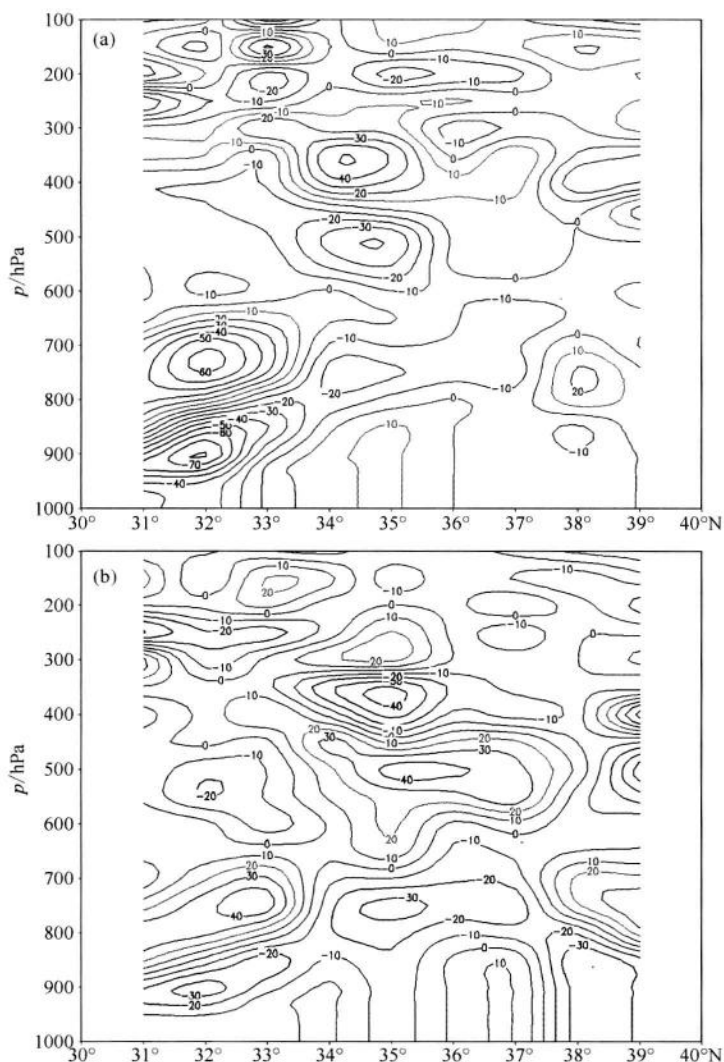


图4 12日02时(a)、08时(b) 106°E 散度场垂直剖面

700 hPa 间,其上部辐散层位于 700 hPa 到 600 hPa 之间,此时降水增强。12 日 08 时到 14 时辐合中心持续北移,位于天水、平凉、定西交界处,中心强度继续增大。其上部辐散层有所增强,主要位于 700 hPa 到 400 hPa 之间。12 日 20 时后甘肃东南部的辐合上升运动逐渐减弱,多数地方降水减小(图 4)。

5.3 垂直速度特征

从李子站垂直速度时间剖面图可以看出,12 日 02 时和 12 日 14 时垂直上升运动达到最强,垂直速度分别为 -80×10^{-3} hPa/s 和 -140×10^{-3} hPa/s。其中在 12 日 02 时,700 hPa 到 400 hPa 之间为上升运动,400 hPa 之上为下沉运动区。对应在这个时次后的 6 小时降水出现了高峰,降水量达到 167 mm。在 12 日 14 时,几乎整层均为上升运动,而此后 6 小时降水量却很小,仅为 0.5 mm(图 5a)。

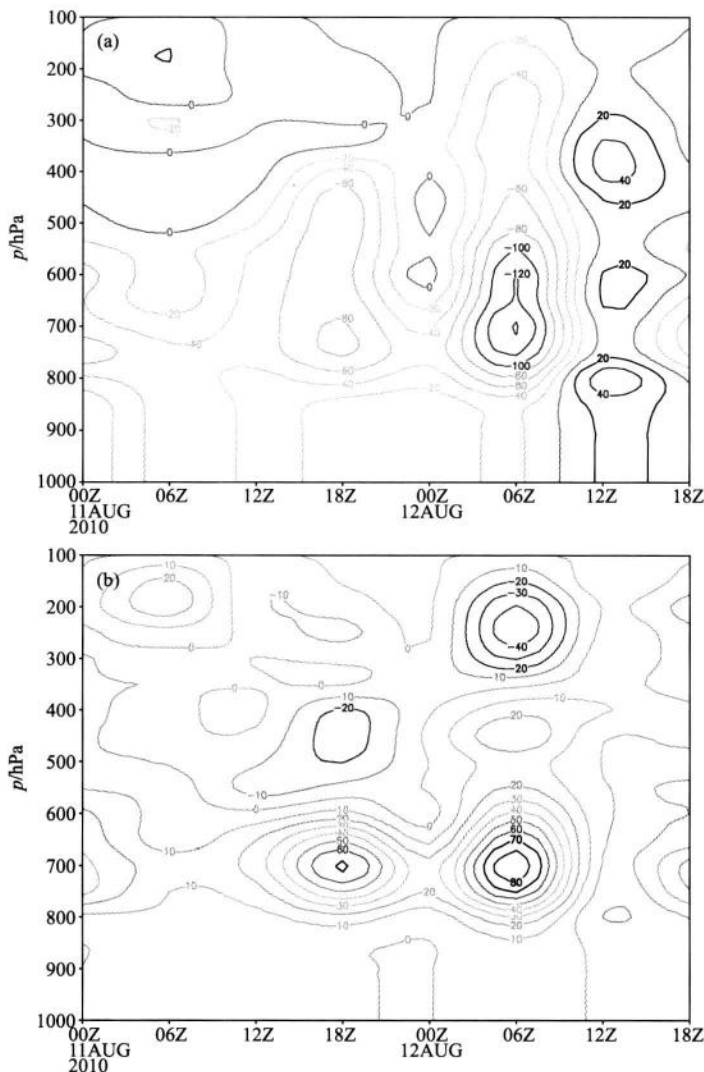


图 5 李子站 11 日 00 时到 12 日 02 日垂直速度(a)、螺旋度(b)时间剖面

5.4 螺旋度特征

李子站垂直螺旋度时间剖面图表明,在 12 日 02 时和 12 日 14 时,700 hPa 上分别对应两个螺旋度正中心,表明这两个时段中低层垂直涡度和垂直上升运动得到增强,天气现象在这两个时段应该得到加剧。但 6 小时降水实况表明第一时间段出现了大暴雨而第二时间段降水量不足 1 mm。由此可见,垂直上升运动的加强和正螺旋度中心的发展可导致暴雨的发生,但在另一些时候,甘肃陇东南强烈的上升运动和大的正螺旋度中心却并未造成明显降水天气,其原因值得进一步探讨,同时反映出高原地区大降水成因的复杂性(图 5b)。

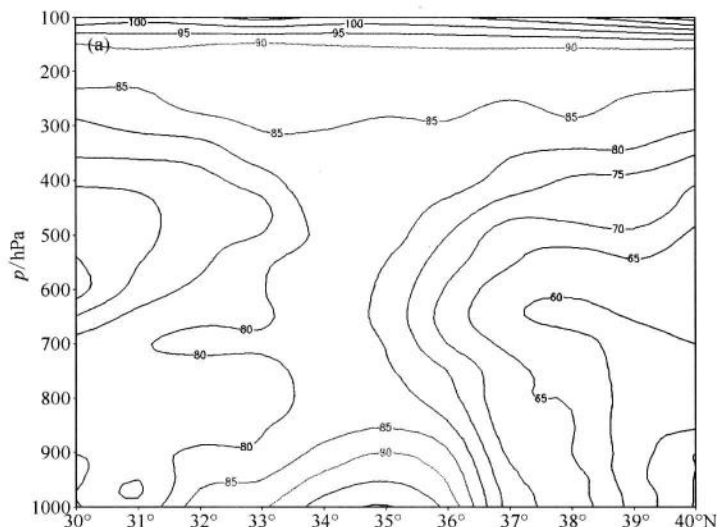
6 不稳定条件

6.1 K 指数

按照甘肃省本地预报经验, K 指数大于 35 以上即可考虑有强降水天气出现。从 11 日 08 时到 13 日 08 时 K 指数水平分布图中可以看出,在降水较明显这段时间,甘肃河东地区 K 指数均 ≥ 40 ,临夏、定西、甘南等地 K 指数一般都在 45 以上。在 11 日 14 时和 12 日 14 时,河东大部分地方 K 指数均上升到 45 以上,为此次大降水天气提供了不稳定条件。

6.2 θ_w 特征

沿 106°E 做 θ_w 垂直剖面图。从图中可以看出,从 11 日 14 时开始,陇南、天水、定西、平凉一带($33^\circ\sim 36^\circ\text{N}$)有不稳定能量发展并不断增强。11 日 20 时到 12 日 08 时, θ_w 垂直梯度最大处约在 $34^\circ\sim 35^\circ\text{N}$ 之间,而 12 日凌晨出现大暴雨的几个站,基本位于上述区域内。由此可见大气不稳定层结的存在,为强降水的出现提供了能量,最终导致大暴雨的产生(图 6)。



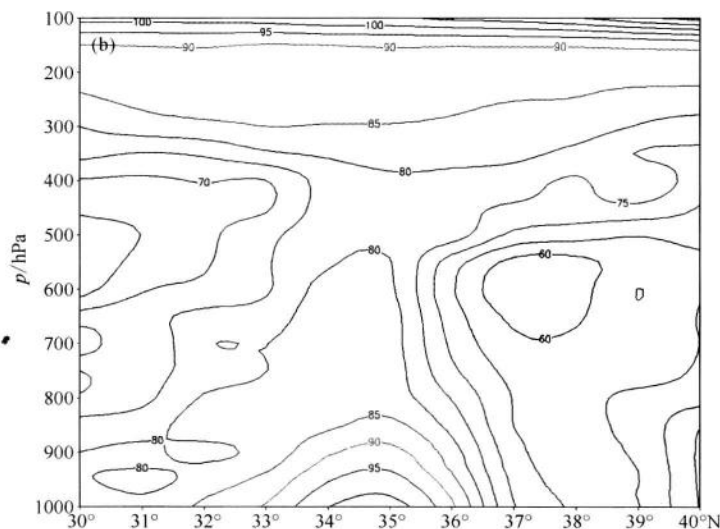


图6 12日02时(a)、08时(b)106°E θ_w 场垂直剖面(°C)

6.3 暴雨触发机制

分析700 hPa流场特征可发现,11日14时,在高原边坡到甘肃中部以及甘肃平凉一带各出现一条东西向的切变线。11日20时,受小股冷空气影响,两条切变线南退减弱。12日02时,偏南风再度加强北上,甘肃中部切变线处于形成和逐步加强阶段。12日08时,偏北风与南风在甘肃中部形成明显切变线,而此时陇东南降水达到最强。由此可见,此次暴雨的触发机制是低层中尺度切变线、偏南暖湿气流的增强以及低层辐合高层辐散的散度场配置。

7 中尺度云团特征

本次暴雨具有明显中小尺度特征,在11日到13日间有多个中 β 尺度对流云团沿700 hPa切变南侧发展东移,揭示了中小尺度系统的发生发展。

11日00时,高原有中尺度对流云团发展东移。云团中心位于甘肃临夏,云顶亮温 $\leq -80^{\circ}\text{C}$,此时甘肃中部尤其是临夏的降水加剧。此后云团范围不断扩大,强度增强。11日03时,该云团不断加强,中心云顶亮温 $\leq -80^{\circ}\text{C}$ 的区域增大(图7a)。11日04时到14时,云系在东移过程中逐渐减弱,雨区向东推进,降水量级减小。11日15时,甘南及陇东两地各有一个云团发展增强,此时上述两地降水增大,平凉王家坝水库14—20时之间出现大暴雨。11日21时,定西到天水一带又出现了第四个中尺度云团,并迅速增强。此时甘南、中部及陇东附近的三个云团云顶亮温度均 $\leq -80^{\circ}\text{C}$ (图7b)。12日03时,在中部对流云团的前部、天水附近,发展起本次过程的第五个云团(图7c),正是由于这个云团在此后6小时中迅速增强并南压,造成了陇南和天水大暴雨天气。12日11点以后,尽管降水云团依然维持在甘肃东南部,但强度开始减弱,最强中心范围逐渐减小,陇东南降水天气也有所减弱。12日20时,四川盆地有云团加强北上,并于13日02时达到最强(图7d),甘肃陇南处于云团中心外围,当地降水再次达到高峰。13日06时后云团开始明显减弱,大降水天气趋于结束。

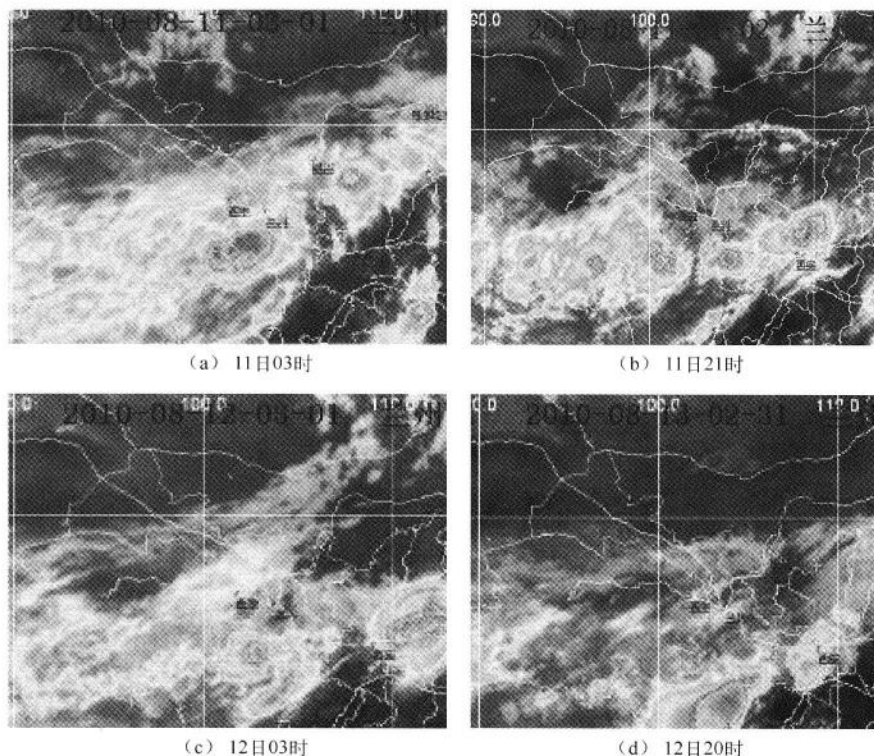


图7 8月11—12日中尺度云团演变图

8 小结

(1)此次暴雨持续时间较长,但大暴雨出现时段集中,雨强大,危害性强。暴雨过程产生于有利的高空环流背景之下。副高强盛,北部冷空气分裂南下,青藏高原切变线活动频繁,是本次暴雨过程的主要环流特征。

(2)500 hPa 锋区和 700 hPa 低涡切变线是造成暴雨天气的直接影响系统。

(3)低层正涡度中心、水汽辐合、上升运动、正螺旋度中心以及层结不稳定等因素为暴雨产生创造了热力条件、动力条件和能量条件。

(4)此次暴雨的触发机制是低层中尺度切变线的发展、偏南暖湿气流的增强,以及低层辐合高层辐散的大气上下层抽吸作用。

(5)多个中 β 尺度对流云团沿 700 hPa 切变南侧发展东移,表明本次大暴雨过程中存在明显中小尺度系统,它是局部地方大暴雨产生的重要原因。

参考文献

- [1]西北暴雨编写组. 1992.《西北暴雨》. 北京:气象出版社,91-102.
- [2]白肇烨,徐国昌. 1991. 中国西北天气. 北京:气象出版社,202-254.
- [3]王劲松,李耀辉,康风琴等. 2002. 西北区东部一次暴雨的数值模拟试验[J]. 高原气象, 21(3):258-266.

- [4]杜继稳、李明娟、张弘等. 2004. 青藏高原东北侧突发性暴雨地面能量场特征分析[J]. 高原气象, **23**(4): 453-457.
- [5]赵庆云 狄潇泓 张铁军. 2005. “8·19”甘肃区域暴雨的特征分析及数值模拟. 干旱气象, **23**(4):12-16.
- [6]王陇,刘卫民,贾海源,王彤,靳永才. 2005. 甘肃陇东南地区大到暴雨当时场环流气候特征分析. 干旱气象, **23**(4):30-36.
- [7]刘利民,德庆措姆,孟丽霞. 2009. 甘肃河东一次区域性暴雨天气过程分析. 干旱气象, **27**(3):271-275.
- [8]陶诗言等. 1980. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,225.

2010年甘肃区域性暴雨分析*

刘新伟¹, 段海霞², 赵庆云¹

(1. 兰州中心气象台, 甘肃兰州; 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,
兰州 730020)

摘 要:利用甘肃省自动站降水、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、FY-2C 卫星云图等资料, 对2010年7月22—24日甘肃东部发生的区域性暴雨天气过程进行分析。通过对高空天气形势、多种物理量场以及卫星云图等数据从不同角度对此次暴雨过程进行分析。研究表明:此次暴雨天气过程是由于大陆高压的快速发展西进, 切断高原东部的短波槽造成切断低压引起的;降水强度大, 持续时间长是造成累计大降水主要原因;另外台风“灿都”的存在也在一定程度上加强了暴雨量级。

关键词:暴雨 自动站 卫星云图

1 引言

24 h降水量超过50 mm的降水,我们称之为暴雨。在西北地区,大部分地区年降水量在300~500 mm左右,对于1 d超过50 mm(相当于年降水量的1/10以上)的强降水过程是一种小概率事件。在西北地区这种地质条件疏松、地形复杂的区域,造成各种气象衍生灾害的正是这种强降水天气,极易给国民经济和人民生命财产造成重大损失。近年来,极短时间频发,暴雨过程屡破极值,各地都利用数值模拟、雷达、卫星等资料对不同暴雨过程进行了深入的分析(西北暴雨编写组,1992;陶诗言,1980;白肇烨等,1991;毕宝贵等,2006;闵文彬等,2003)。许多学者针对西北地区暴雨过程也做了很多研究,并取得了很多成果,有些学者对西北区暴雨个例进行诊断及数值模拟分析(王劲松等,2002;赵庆云,2005;王陇等,2005;段海霞等,2009;李川等,2006;武麦凤等,2006;刘新伟等,2010;毕宝贵等,2004;李晓霞等,2007;曹玲等,2007)。西北区地形复杂,许多学者在地形对暴雨的影响方面也做过不少研究,暴雨中尺度系统的分析也有一些研究,另外使用雷达资料对西北暴雨也有一些研究。这些工作对西北暴雨进行分型及分析,为西北暴雨预报、研究打下了良好的基础。2010年7月22—24日,甘肃省中东部出现区域性暴雨天气,局地过程降水量达319.4 mm,超过该地区年降水总量的一半。因此,对于暴雨的强度、落区以及影响时间的准确预报非常重要。本文对此次暴雨过程进行天气形势、物理量场以及卫星云图特征等方面的分析,以期找出引起强降水的主要原因,为以后预报准确率的进一步提高提供有效支撑。

* 刘新伟(1981—),山西省文水县人,本科,主要从事短期预报工作。

2 数据和方法

以 NCAR/NCEP, 6 h 一次, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的再分析资料, 对 2010 年 7 月 22—24 日发生在甘肃中东部的区域性暴雨过程进行天气形势、物理量场等方面进行分析, 结合甘肃省自动站逐小时降水数据, 以期找出暴雨发生、发展及减弱的天气学原因; 并且利用卫星云图进行分析, 为以后对区域性暴雨的预报总结经验。

3 暴雨天气实况

3.1 降水及灾情

2010 年 7 月 22—24 日, 甘肃省中东部出现暴雨天气(图 1)。累计降水量 15 个观测站(县级站, 下同)超过 50 mm, 其中 7 站超过 100 mm, 5 站在 150 mm 以上(达年降水量的 1/3 以上); 日最大降水量出现在灵台站, 达到 160 mm; 累计降水量最大值出现在灵台县朝那乡, 达到 319.4 mm。共计造成 16 人死亡, 2 人失踪, 48 人受伤; 全省受灾面积 4.5 万余公顷, 受灾人口达 65 万余人, 其余诸如房屋损坏、倒塌, 桥梁冲毁, 道路冲断等多处; 造成直接经济损失 7.1 亿元。

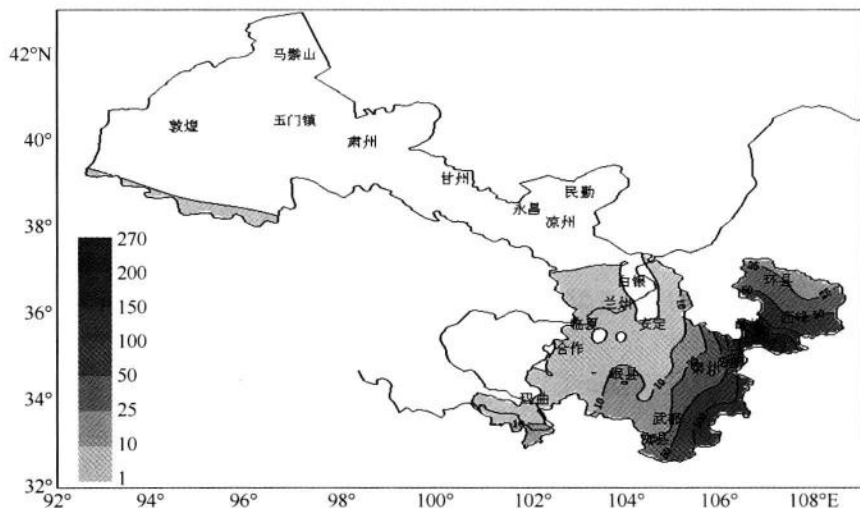


图 1 7 月 22—24 日甘肃省降水量分布图(单位:mm)

3.2 自动站降水分析

图 2 是甘肃省平凉市出现的几个最大暴雨量点的自动站逐小时降水量图, 表明, 自 23 日凌晨开始, 每个小时都有降水量超过 10 mm 的站; 23 日 15 时之前, 小时降水量大都维持在 20 mm 以下, 之后连续 6 小时出现了小时降水量超过 20 mm 的降水, 最大小时降水量出现在 16 时, 达到 33.2 mm。20 时以后降水逐渐减弱, 没有再出现小时降水量超过 20 mm 的降水。由此可见, 降水强度大, 持续时间长是引起累计大降水的主要原因。

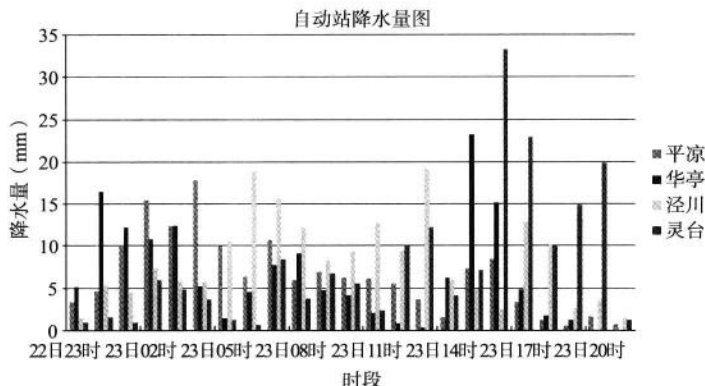


图 2 7 月 22—24 日自动站降水分布图

4 天气形势分析

4.1 形势场分析

从 7 月 21 日 08 时 500 hPa 高空形势场(图略)可以看出,西太平洋副热带高压强烈发展,北部 588 线已经北抬至 43°N 附近,在其强迫下,东北低涡移动缓慢,并且在蒙古挤压出一个大陆高压;21 日 20 时 500 hPa 高空形势场(图略)上,存在一个明显下滑的西风带冷槽;随着时间的推移,副高稳定少动,促使大陆高压发展并且西伸,到 22 日 20 时,大陆高压中心强度已经达到 590 dagpm,西边界伸至甘肃省河西西部,切断了西风带冷槽形成了一个深厚的切断低压,低压中心 586 dagpm,南海有台风“灿都”将要登陆我国广西西部。随着副高、大陆高压的继续加强,台风“灿都”逐渐登陆并减弱成低压消失,处于两高之间的切断低压却继续发展加强,到 24 日 08 时,低压中心值最低达到 582 dagpm,此后该低压开始逐渐减弱,直到 25 日 20 时,切断低压消失。图 3 是 22—25 日 20 时 500 hPa 平均高度场图,可以看出:高空的环流形势是非常稳定的,低压中心一直维持在甘肃中东部。值得注意的是,甘肃省中东部降水基本在 22 日 20 时开始,在 23 日随着低压的持续加强,降水不断增强。

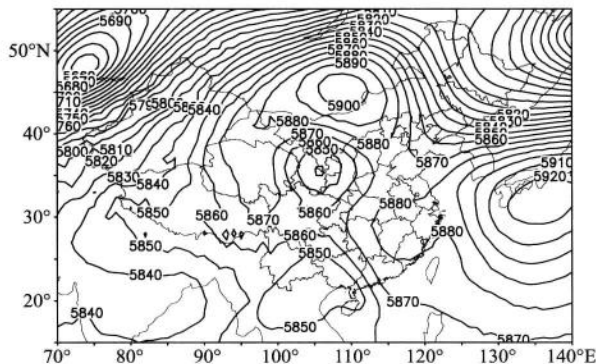


图 3 22—25 日 20 时 500 hPa 平均高度场(单位:gpm)

4.2 水汽条件分析

从 20 日 20 时 700 hPa 风场来看(图略),输送至甘肃省中东部的偏南气流主要来自于孟加拉湾,随着环流形势的演变,21 日 20 时 500hPa 图上,云南西部缅甸出现一个高压环流,中心达到 588 dagpm;“灿都”台风北上,来自孟加拉湾的偏南气流逐渐消失,转而从副高西侧、台风外围产生偏南气流向北输送。22 日 08 时,甘肃省中东部上空 700 hPa 的比湿最高达到 13 g/kg,之后基本维持在 10 g/kg 以上,在之后的一段时间内也是这个形势,因此可以说明孟加拉湾输送至此的水汽条件要比南海的弱。但是台风的登陆并减弱消失,其东北侧的大风速环流是否增强了水汽的向北输送呢,我们在图 2 上可以看出大降水主要集中在 23 日凌晨到夜间,而台风也正是在这段时间登陆,降水减弱的时候也正是台风减弱消失的时候;能够维持 20 个小时左右的强降水而大气含水量保持不变,台风“灿都”在这次暴雨过程中的水汽输送功不可没。从上可见,在这次过程中,大陆高压发展并切断高原短波槽形成切断低压是造成此次降水的主要原因;台风“灿都”的登陆使得偏南气流携带南海的暖湿水汽输送至甘肃中东部同时其外侧的大风速环流增强了水汽的向北输送,保证了维持长时间降水的充沛水汽。

4.3 水汽通量

有了低层辐合、高层辐散的环流形势,并不一定就可以产生大的降水,水汽的输送尤其是水汽汇至关重要,图 4 给出了过平凉站(35.6°N,106.7°E)上空 7 月 22—24 日水汽通量时间剖面,可以看出,700 hPa 附近水汽通量的辐合从 22 日 08 时开始增大,到 23 日 14 时达到最大,24 日 02 时之后迅速减弱,24 日 08 时,水汽通量散度达到最小。这个时段也正好对应了台风“灿都”登陆到减弱的时段,再次说明台风外侧的大风速环流增强了水汽的向北输送,保证了维持长时间降水的充沛水汽。

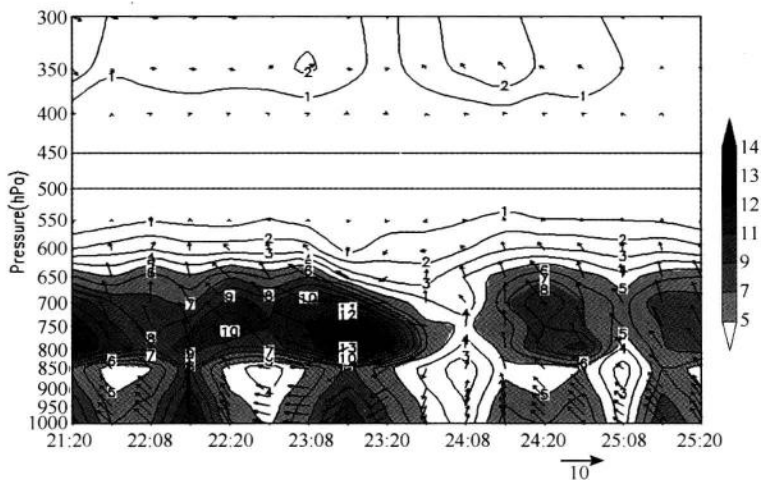


图 4 7 月 21—25 日水汽通量时间剖面图

(单位: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-2} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

5 物理量场

5.1 动力条件

由图 5a 可以看出,随着切断低压的形成,22 日 20 时,副高外侧的下沉气流逐渐减弱,平凉市上空转变为一致的上升气流,23 日 08 时,垂直上升运动达到最强,最强中心位于 650 hPa 左右层次上,中心值达到 -2.1 Pa/s ,该上升气流一直持续至 23 日 20 时,才逐渐减弱消失。因此,持续的上升气流正好满足了长时间降水的抬升条件。在散度场(图 5b)中可以看到:22 日 20 时到 23 日 20 时,平凉市 500 hPa 以下是辐合流场,而其以上则是辐散的,辐散最强时刻出现在 23 日 08 时,中心位于 400 hPa 左右,中心值为 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,23 日 08 时至 20 时,中低层出现两个辐合中心,分别位于 800 hPa 和 550 hPa 层上,低层辐合、高层辐散是造成降水的高低空环流配置。23 日 20 时以后,高层辐散的环流形势逐渐减弱消失,高低层逐渐转变成一致的辐散环流,没有维持上升气流的机制,因此降水开始减弱。另外,23 日 20 时,高空有下沉气流,应该有冷空气与之相对应,这个在假相当位温中给予解释。

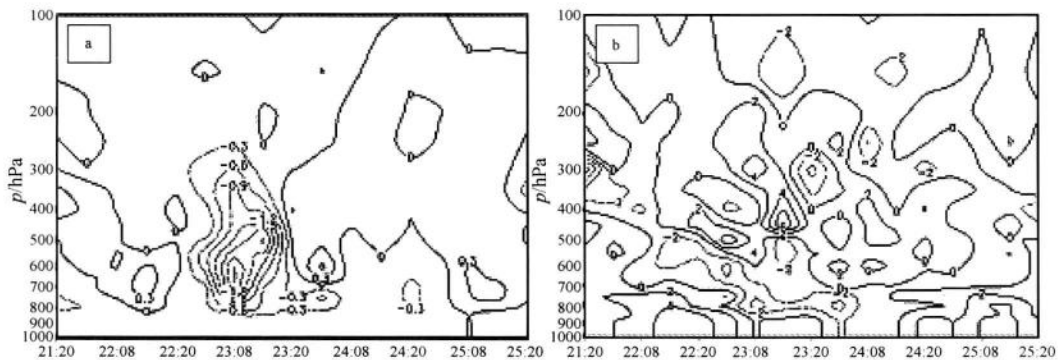


图 5 7 月 21—25 日时间剖面图(a)垂直速度(单位:Pa/s), (b)散度(单位: 10^{-5} s^{-1})

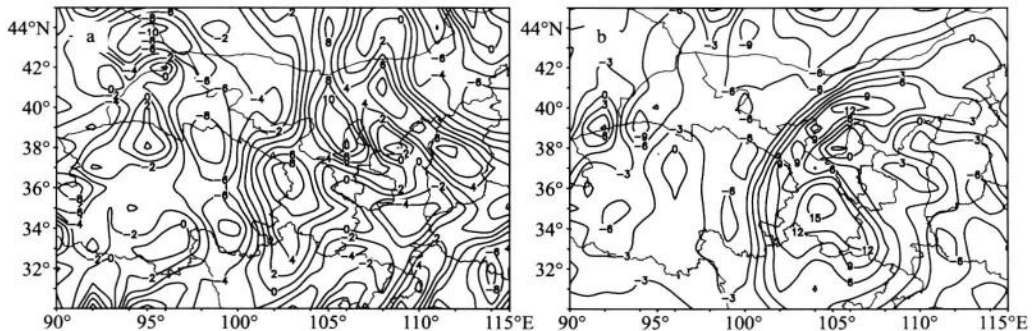


图 6 300 hPa 涡度平流(a)22 日 20 时;(b)24 日 20 时

涡度平流可以反映槽脊的移动,从 300 hPa 涡度平流的演变来看,22 日 02 时,正涡度平流大值区位于甘肃河西西部,而负值区则位于平凉东南方向,且正涡度平流中心不断东移南

压,正好对应大陆高压切断高原短波槽形成切断低压的时段,这也说明高空正涡度平流使低涡加强。22日20时,正涡度平流中心已经东移至甘肃中部,平凉市位于正涡度平流的东南部(图6a),并且降水过程开始;此后正涡度平流中心持续维持在甘肃陇东地区,使得低涡不断维持,造成平凉市强降水天气。24日08时,正涡度平流中心开始向西南方向移动,强度减弱,此时低涡中心也逐渐减弱,雨区也逐渐向南移动,至24日20时,正涡度平流中心移至定西一带(图6b),平凉市暴雨天气过程趋于结束。

5.2 热力条件

温度平流可以引起槽脊的加强,21日20时开始,平凉市以西方向一直存在着负温度平流,有利于低涡的维持发展,并且在23日20时达到最强(图7),这也是低涡持续稳定维持的重要原因。23日20时以后,负温度平流中心向北收缩,失去了冷空气的补充,低涡中心开始减弱。

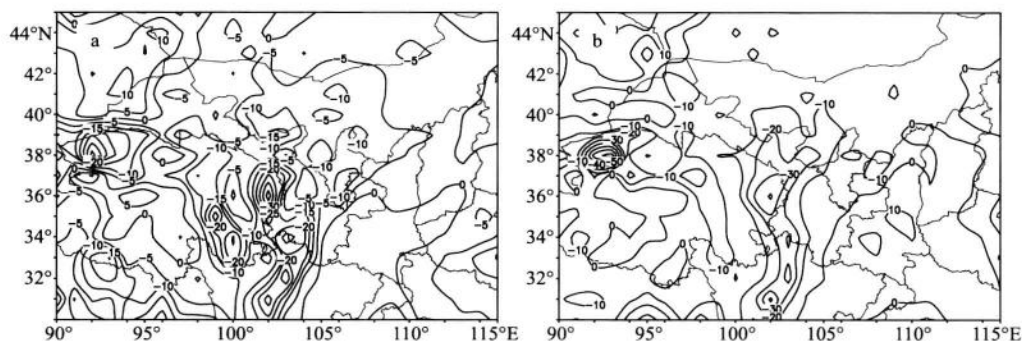


图7 700 hPa温度平流(a)22日20时;(b)23日20时

假相当位温是一个表征温度、气压、湿度的综合物理量。图8表明,在22日20时至24日08时这段时间内,在平凉市上空的比湿、气压基本没有变化的情况下,23日08时500 hPa上空出现一个假相当位温升高的时段,说明这个时段平凉市上空开始积聚能量,对流层高能加之

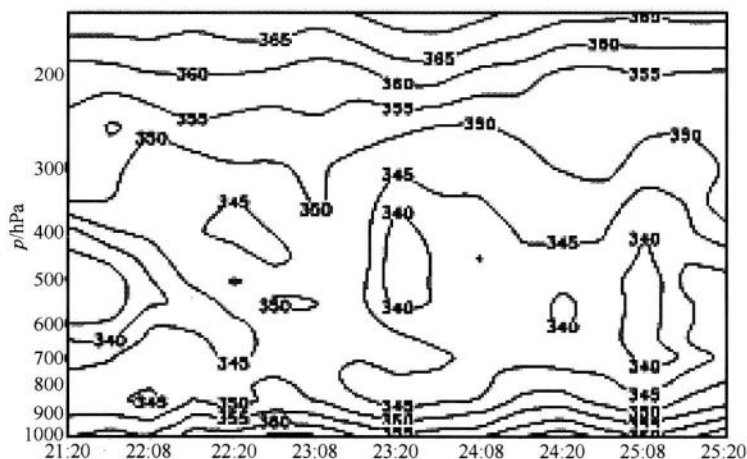


图8 7月21—25日假相当位温时间剖面图(单位:K)

近地面层对流不稳定,形成典型的暴雨期假相当位温垂直剖面,造成该时段产生大的降水,水汽凝结潜热释放又使得高层的温度升高;而 23 日 20 时以后,400 hPa 以下基本维持在 340 K 左右,是一个低值区,温度的下降抑制了能量的积聚。

以上可见,在 22 日 20 时到 23 日 20 时这个时段内,低层辐合、高层辐散的稳定环流形势,配合以充沛的水汽输送和水汽通量辐合,以及持续的上升气流,是造成此次长时间强降水的原因。23 日 20 时以后,由于水汽输送逐渐变小,有利的环流形势转弱,以及假相当位温的下降,抑制了不稳定能量的发展,使得降水减小。

6 卫星云图

由 23 日 FY-2E 可见光云图(图略)可以看出,在 23 日不断有强对流云团发展。图 9 给出了 23 日 00 和 10 时(UTC)的可见光云图,可见光云图可以反映物体反射照的大小,对流云的反照率最大,由图可知甘肃省中东部大量的细胞状云团是最白最亮的,说明这一地区的云的厚度大、云水含量高、云滴的平均尺度小^[17];另外随着太阳的移动,在图 9a 中云团的左侧存在暗影,图 9b 中云团的右侧存在暗影,云团暗影的存在正好表明该地区有明显的强对流云团存在,且对流云团发展旺盛,容易产生大的降水。23 日水汽图上(图 10),当天甘肃中西部一直处于一个暗区之内,说明中高层有干侵入^[16],是下沉气流,这与发生暴雨区的上升气流区形成一个明显的次级环流圈,有利于降水的发展;而中东部的高层水汽也是非常充足的。

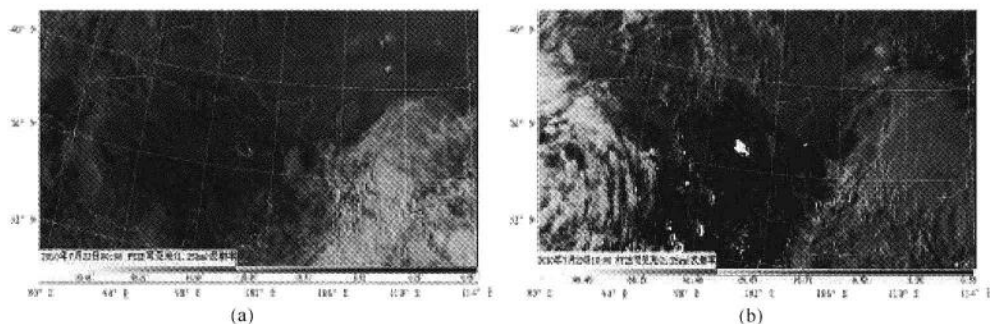


图 9 可见光云图(a)23 日 00 时(UTC);(b)23 日 10 时(UTC)

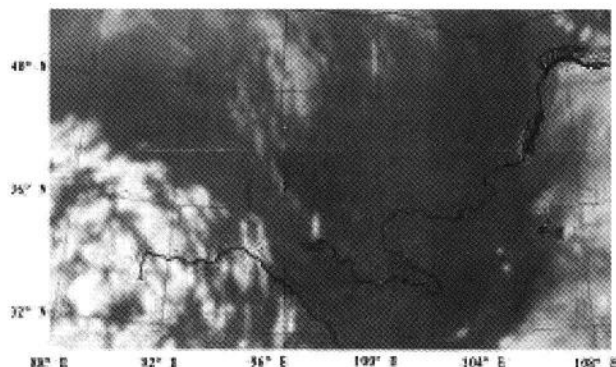


图 10 23 日 08 时(UTC)水汽云图

另外,大量的研究事实表明,TBB 低值区与强降水落区有明显的对应关系,TBB 值减小过程与雨强增强过程比较一致,TBB 梯度大值区在某地长时间维持容易产生长时间强降水。从图 11 中可以看出,甘肃中东部正好处于这一区域 TBB 值的梯度最大区域,这也表明该处将会出现较大的降水。

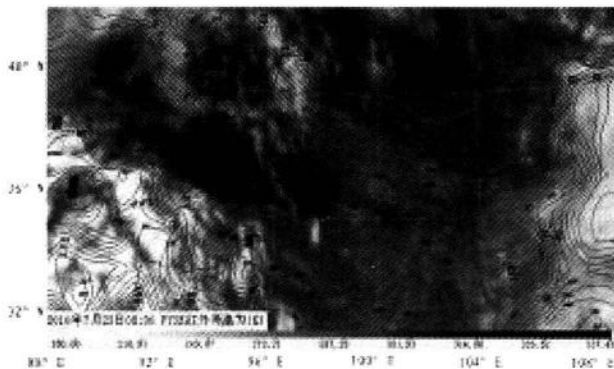


图 11 7 月 23 日 16 时红外云图(阴影)&20 时 TBB 资料(等值线)(UTC)

7 小结

利用甘肃省自动站降水、NCEP、卫星云图等资料,对 2010 年 7 月 22—24 日甘肃东部发生的区域性暴雨天气过程进行分析。分析表明:1)大陆高压的快速发展西进,切断高原东部的短波槽形成切断低压是造成此次暴雨的主要原因;2)此次降水水汽来源于南海,台风“灿都”的存在加强了偏南暖湿气流的向北输送;3)切断低压的维持,配合暖湿气流的不断输送,使得此次过程降水强度大,持续时间长,造成累计大降水;4)暴雨区处于中高层的干侵入边缘,TBB 梯度较大的位置。

参考文献

- [英]M. J. 巴德等. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用. 北京:科学出版社,1998,12-13.
- 白肇烨,徐国昌. 中国西北天气. 北京:气象出版社,1991:202-254.
- 毕宝贵,刘月巍,李泽椿. 2002 年 6 月 8—9 日陕南大暴雨系统的中尺度分析. 大气科学,2004,**28**(5):747-761.
- 毕宝贵,刘月巍,李泽椿. 秦岭大巴山地形对陕南强降水的影响研究. 高原气象,2006,**25**(3):485-494.
- 曹玲,窦永祥,杨晓玲. 新一代天气雷达在河西走廊强对流天气预报中的应用. 干旱气象,2007,**25**(4):30-35.
- 陈晓红 胡雯 周扬帆 郑苏明 余金龙. 2007 年汛期淮河流域连续性大暴雨 TBB 场分析. 气象,2009,**35**(2):57-63,第 2 期.
- 段海霞,刘新伟. 喇叭口地形对一次暴雨影响的数值试验. 干旱气象,2009,**27**(4):327-333.
- 李川,陈静,何光碧. 青藏高原东北侧陡峭地形对一次强降水天气过程的影响. 高原气象,2006,**25**(3):442-450.
- 李靖,于波,王华,卞素芬. 北京地区一次局地暴雨过程的诊断和中尺度分析. 气象,2008,S1 期.
- 李晓霞,王有生,朱拥军. 一次强对流风暴的新一代天气雷达特征分析. 干旱气象,2007,**25**(2):35-42.
- 刘新伟,段海霞,赵庆云. 甘肃一次区域性大暴雨分析. 干旱区研究,2010,**27**(1):128-134.

- 闵文彬,陈忠明,高文良等."2001.9.18"华西突发性强暴雨的中尺度分析.高原气象,2003,**22**(增刊): 110-118.
- 陶诗言等.中国之暴雨.北京:科学出版社,1980:144-155.
- 王劲松,李耀辉,康凤琴等.西北地区东部一次暴雨的数值模拟试验.高原气象,2002,(3):258-266.
- 王陇,刘卫民,贾海源等.甘肃陇东南地区达到暴雨当时场环流气候特征分析.干旱气象,2005,**23**(4):30-51.
- 吴迪,寿绍文,姚秀萍.东北冷涡暴雨过程中干侵入特征及其与降水落区的关系.暴雨灾害,2010,**29**(2): 111-116.
- 武麦凤,康凤琴.一次强飚线过程的卫星云图和天气雷达回波特征分析.干旱气象,2006,**24**(4):45-50.
- 《西北暴雨》编写组.西北暴雨.北京:气象出版社,1992:3-6.
- 赵庆云,狄潇泓,张铁军."8·19"甘肃区域暴雨的特征分析及数值模拟.干旱气象,2005,**23**(4):12-16.

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

张之贤^{1,2,5}, 张 强^{1,2,4}, 赵庆云³, 孙 芸⁶

- (1. 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, 兰州 730020;
2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 兰州中心气象台, 兰州, 730020;
4. 甘肃省气象局, 甘肃兰州 730020; 5. 93808 部队, 甘肃榆中, 730109
6. 兰州资源环境职业技术学院, 兰州, 730020)

摘 要:本文用降水和雷达基数据资料研究了青藏高原东部地区的短时强降水及其雷达回波特征和降水反演。研究发现, 短时强降水从凌晨到中午是减少的趋势, 13 时达到最低, 而后逐渐增大, 到 19 时达到顶峰, 高原边缘复杂地形是这种特征形成的一个可能原因; 当降水较小时区域站观测的降水量比自动站偏小, 但最大降水量却远大于自动站的值, 表明原有的气象站点并不能较好地反映局地降水, 必须考虑区域站; 当雷达平均回波强度 < 15 dBz 时强降水发生的百分比较小, > 21 dBz 时强降水发生百分比迅速增大; 雷达强回波有 75% 在 20 km 以下; 综合回波和降水特征说明短时强降水主要是局地性质的, 尺度很小。把回波强度和降水用最优拟合法进行反演降水的分析, 讨论了存在的问题, 并且尝试用旋转速度和液态含水量反演降水, 提出了一个新的思路。

关键词:短时强降水 回波强度 液态含水量 旋转速度

1 引言

20 世纪以来, 特别是近 50 年来, 全球气候变暖趋势显著, 气候变暖可能导致强降水等极端天气事件增多(IPCC, 2007; Jones P D, 2003; 郭慧, 2007)。而其中短时强降水, 由于突发性强, 预报难度大, 成为一种灾害性很强的天气事件(林纾, 2008)。我国青藏高原东部地区由于本身降水较少, 强度和范围比其他地方尤其南方要弱很多(周鸣盛, 1994), 但仍然深受强降水危害, 这一方面是由于地处少雨地区, 建筑物防雨能力差, 但更重要的是由于处于青藏高原边缘, 坡地多, 河床落差大, 并且地质构造使山体变陡、岩石破碎、山坡坍塌, 一遇到较强降水就有可能引发灾害, 比如 2010 年的舟曲特大山洪泥石流, 造成了巨大灾害。

强降水研究近年来取得了许多有意义的成果, 但其中很多分析都是针对南方地区的(张庆

* 1 基金项目: 国家自然科学基金重点项目“黄土高原陆面过程观测与试验研究”(编号: 40830957) 和国家公益性行业科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究(编号: GYHY200806021)”共同资助。

** 作者简介: 张之贤(1986—), 男, 甘肃临泽人, 硕士, 主要从事短期、短时预报方法和雷达气象学的研究。
E-mail: zhangzx12@qq.com

云,2003;徐桂玉,2002;曾欣欣,2004),北方相对较少。西北地区东部紧靠青藏高原,受青藏高原季风影响,具有明显的季风气候特征,地貌格局造成该地区气候和降水具有多样性,局部暴雨洪水及冰雹频繁发生,容易造成滑坡、泥石流、洪水和土壤侵蚀等地质灾害。本文将研究范围选在了西北地区东部,地形复杂,研究更有针对性,也具有实际价值。

Browning(1994)指出,天气预报技术的重大改进一方面由于数值天气预报的发展,但另一方面则应归功于以雷达和卫星为主的遥感观测技术的进展。建立以天气雷达、气象卫星等探测资料为基础的综合分析,是提高短时灾害天气预警水平的重要途径。近20年来,国内外气象工作者针对降水强度和雷达反射率做了很多研究,并取得了一些进展(张家国,2008;俞小鼎,2008;刘红燕,2008;俞小鼎,2005),但其中大多都是针对江淮地区的,由于Z-I关系随地区、降水特点都有很大差异,并没有适合西北地区的降水反演关系式。随着近年自动气象站的建设,明显提高了降水观测的空间和时间密度,对于了解暴雨分布特征,雷达定量预报降水都提供了很大的方便。

本文利用青藏高原东北边缘降水和雷达资料,探讨了在青藏高原地形影响条件下的降水和雷达回波特征,并且利用雷达基数据资料进行了雷达反演降水的研究,试图为开展精细化强降水短时邻近预报提供参考依据,为有效预报地质灾害等提供参考依据。

2 资料及处理方法

本文所用降水资料包括甘肃省的兰州、白银、定西、庆阳、甘南、临夏、陇南、平凉和天水市(州)(以下简称河东地区)2009年、2010年的510个区域站和80个自动站的逐小时降水资料,包含了17 520个时次,从样本数量上可以保证分析工作具有统计学意义。所用雷达资料分别来自兰州、天水、庆阳雷达站。

从图1可以看出,区域站点在绝大多数地区分布较密,相邻站点在10 km的尺度,为研究

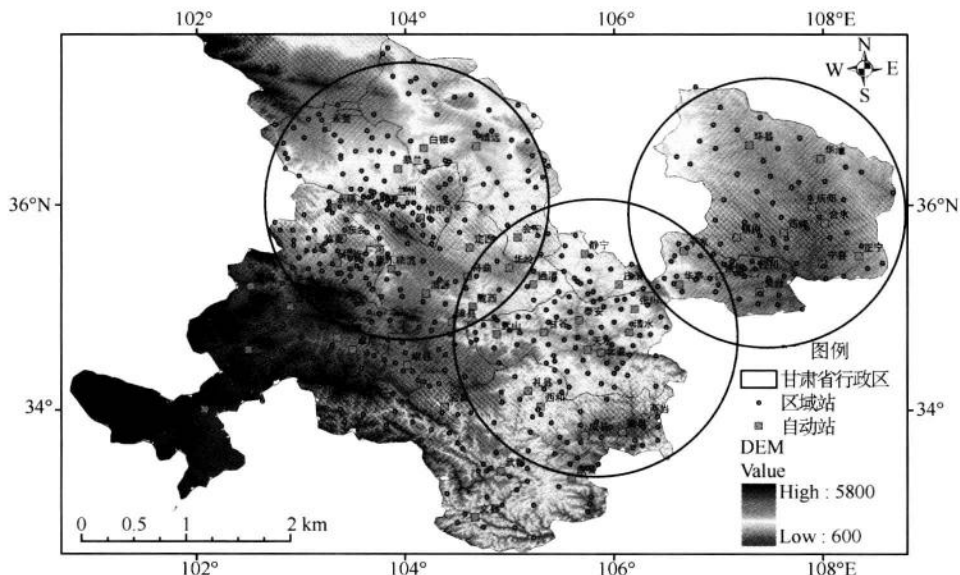


图1 河东地区县站和区域站分布及雷达回波覆盖示意图

局地性暴雨提供了强有力的资料支持。雷达分布在兰州、天水、庆阳三地,均为多普勒天气雷达,有效扫描距离 150 km,由于雷达分布较少,使得个别地区成为了盲区,利用雷达做短时临近预报成为空谈。

从自动站全年降水资料到站率统计(图略)可以看出,全年资料的到站率基本都在 80% 以上,而夏、秋季节的降水资料到站率更是在 95% 以上,分站统计的话有 90% 的站的缺测率在 10% 以下,只有不到 5% 的站缺测率高于 30%,说明资料的完整性较好,加之一年当中的强降水事件主要集中在夏秋季节,可以满足气象业务的统计需要,较好的反映降水特征。

由于目前区域站观测仪器正处于发展建设之中,还有一定的不完备性,资料质量相对于人工站有一定的差距,因此本文仅选用了自动站有降水时区域站的降水资料,考虑到只有一定量的强降水才可能引发地质灾害,本文定义小时降水量 ≥ 10 mm 为短时强降水。

(1)坐标换算法。设网格中任意网格单元的坐标为 (α_g, β_g) ,其中 α_g, β_g 分别为纬度、经度。雷达天线所在点的坐标为 (α_r, β_r) ,其中 α_r, β_r 分别为纬度、经度。使用雷达波束传播和大圆几何学理论可以确定网格单元相对于雷达在某一仰角下的极坐标位置 (r, a) ,其中 r 为斜距, a 为方位角,由球面三角公式可以得出(肖艳娇, 2007):

$$\sin a = \cos(\alpha_g) \sin(\beta_g - \beta_r) / \sin(d/R) \quad (1)$$

其中 R 为地球半径, d 为大圆距离,其表达式为:

$$d = R \cos^{-1}(\sin(\alpha_r) \sin(\alpha_g) + \cos(\alpha_r) \cos(\alpha_g) \cos(\beta_g - \beta_r)) \quad (2)$$

设 $C = \sin a$, 则有:

$$a = \begin{cases} \arcsin C & \text{当 } \alpha_g \geq \alpha_r, \beta_g \geq \beta_r \\ \pi - \arcsin C & \text{当 } \alpha_g \leq \alpha_r \\ 2\pi + \arcsin C & \text{当 } \alpha_g \geq \alpha_r, \beta_g \leq \beta_r \end{cases}$$

$$r = R_m \sin(d/R_m) / ((\cos(d/R_m) - \sin(d/R_m) \tan e) \times \cos e) \quad (3)$$

(2)仰角的选取。图 2 是不同仰角随水平距离的增加,垂直高度的变化。可以看出,如果采用中层仰角 (3.4°) 在 150 km 处垂直高度将超过 8 km,超过了绝大多数云的上部,而采用较低仰角的话,在近距离处雷达波束在地平线附近,虚假回波较多。为了尽可能得到云的真实数据,还要保证能得到云适当高度上的回波数据,此外还由于雷达信号存在随距离衰减的客观问题,本文采用在不同距离取用不同仰角数据的做法,按照尽可能保证垂直高度在 1 500 m 左右

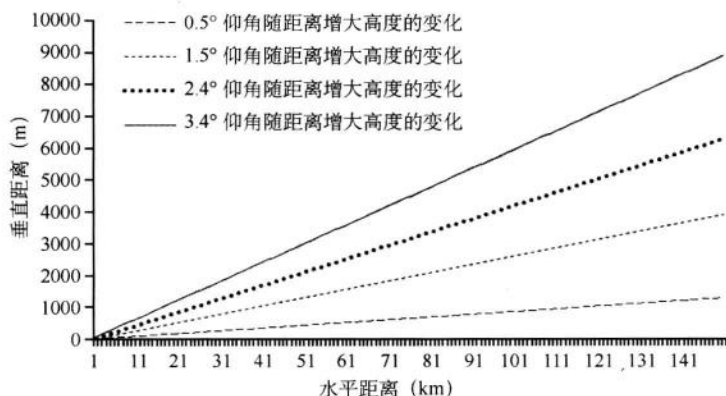


图 2 波束中心高度随仰角和距离的变化

的原则,在 25 km 以内用 3.4° 仰角,25~70 km 用 1.5° 仰角,70~150 km 用 0.5° 仰角。

(3)垂直累计液态含水量算法。在雷达定量测量降水中,最常用的滴谱分布为 $M-P$ 分布(Marshall-Palmer),它由不同地区、不同降水类型和不同降水强度的滴谱资料统计而成。即(付双喜,2004):

$$N(D)\Delta D = N_0 e^{-\Lambda D} \Delta D$$

式中 N_0 为一常数,雨的 $N_0 = 0.08 \text{ cm}^{-4}$ (胡明宝等,2000)。假设云内滴谱分布符合 $M-P$ 分布,经过计算可以得到(俞小鼎,2001;刘治国,2008):

$$Q_{ul} = 3.44 \times 10^{-6} \sum_{i=1}^{n-1} [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{4/7} \Delta h \quad (4)$$

式中 $Z_i, Z_{i+1}, \Delta h, n$ 分别为体扫资料中相邻仰角扫描的雷达反射率因子($\text{mm}^6 \times \text{m}^{-3}$),垂直高度(m)和体扫描资料中能探测到有效反射率因子值的仰角层。

(3)插值方法。本文为了更好地保留数据的真实性,并没有在垂直方向插值到同一高度进行拟合,而采用在不同的距离用不同的仰角进行拟合。由于雷达基数据具有一定的格点特性,为了更好地反映站点上方云团的特性,保留云团物理属性的连续性,采用了 Barnes 插值方法。3D-barnes 的插值是一种考虑了距离的加权平均算法,有一定的外延功能,可以滤除部分观测噪音(杨毅,2004)。基本公式是(Barnes L., 1964):

$$f^a(r_k) = Z_i \sum_i \bar{\omega}_i f^0(r_k) / \sum_i \bar{\omega}_i \quad (5)$$

函数 f 是所要插值的物理量,上标 a 和 0 分别表示分析量和观测量, r_k 是分析网格点 k 的坐标, r_i 是观测点 i 的坐标, $\bar{\omega}_i$ 是权重系数,即:

$$\bar{\omega}_i = \exp[-(r_h^2/2R_h^2 + r_v^2/2R_v^2)] \quad (6)$$

其中 r_h 是观测点 i 与分析网格点 k 之间的水平距离, r_v 是垂直距离, R_h 和 R_v 分别是预先规定的水平和垂直影响半径。考虑到西部地区的强降水多为对流天气引起,一般尺度较小,云团随距离的变化率较快,但是如果把影响半径定义较小的话,有时由于雷达扫描正好在那一点缺失的话又影响到统计分析,综合考虑将水平影响半径定为 1 000 m。由于不进行垂直方向插值,不考虑垂直影响半径的定义。

3 短时强降水及雷达回波特征

研究短时强降水及雷达回波特征,可以了解强降水的发生规律,掌握强降水的发生特点,有助于半定量地了解回波和降水的对应关系,提高对降水的定量预报能力。

图 3 是自动站和区域站观测示意图。经过近年区域站观测布网建设,区域站密度得到了很大提高,本文将自动站降水分类,并且和它周围 20 km 内的区域站同时观测到的降水进行对比,试图了解它们之间的差异,并且找出强降水的特征。

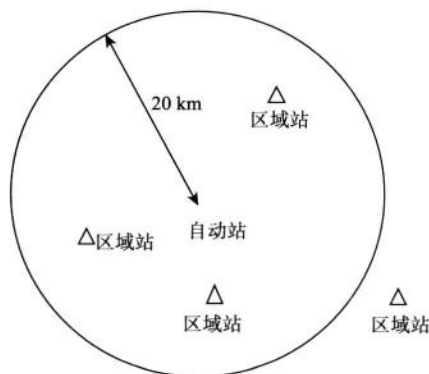


图 3 自动站和区域站观测示意图

从图4可以看出,区域站降水量值明显小于自动站,但随着自动站降水的增大,区域站也表现出了逐渐增大的区域,呈现出了一致性。这主要是由于强降水的尺度小,局地性特别明显,在对区域站降水求平均的过程就表现出了差异较大的特征。在降水量 <30 mm时区域站观测的最大降水量明显大于自动站降水量,表明原有自动站已不能满足精细化预报的要求,无论是在业务还是科研中都必须考虑区域站;随着自动站观测降水量的增大,二者逐渐趋于一致,表明引起此类降水的尺度较大,在较小的地理范围内变化不明显。

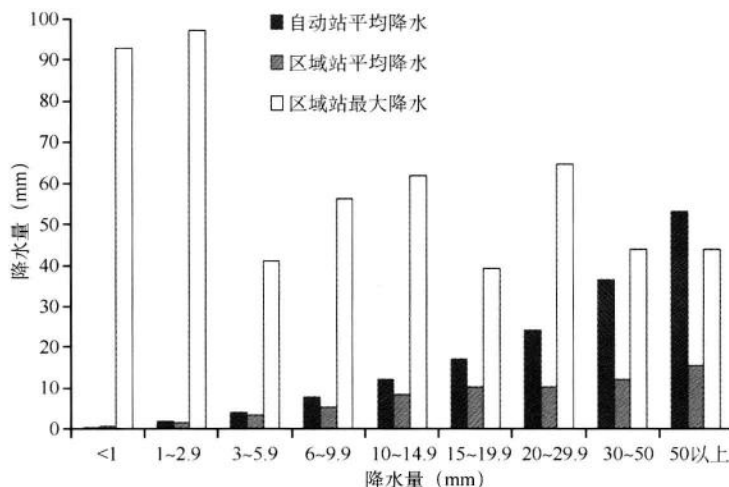


图4 分段降水条件下区域站和自动站降水观测对比图

图5为河东地区 ≥ 10 mm降水日变化特征图(北京时,下同)。从图可以看出降水存在明显的日变化特征。从凌晨开始逐渐降低,到13时达到最低,然后又逐渐升高,19时达到最大,接着又逐渐减小,形成这一特征的原因主要与西北地区的降水特点有关。这类降水主要是由于夏季青藏高原加热大气,形成高原上空温度场暖区和地面热低压,形成了一个在高原边坡地区上升,高原外围下沉的垂直环流圈(白肇烨,1988),产生短时强降水。

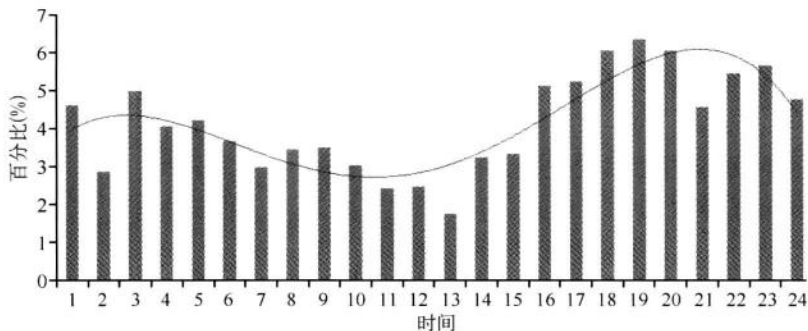


图5 短时强降水日变化特征图

从图6可以看出,当回波强度在10 dBz以下时,短时强降水发生的概率极低,当回波强度达到15 dBz时,百分比迅速增大,到23~29 dBz时百分比达到最大,而后迅速减小,减小的原因主要是强回波所占比例较少,因为图中给出的是1小时的平均值,导致回波强度偏小。

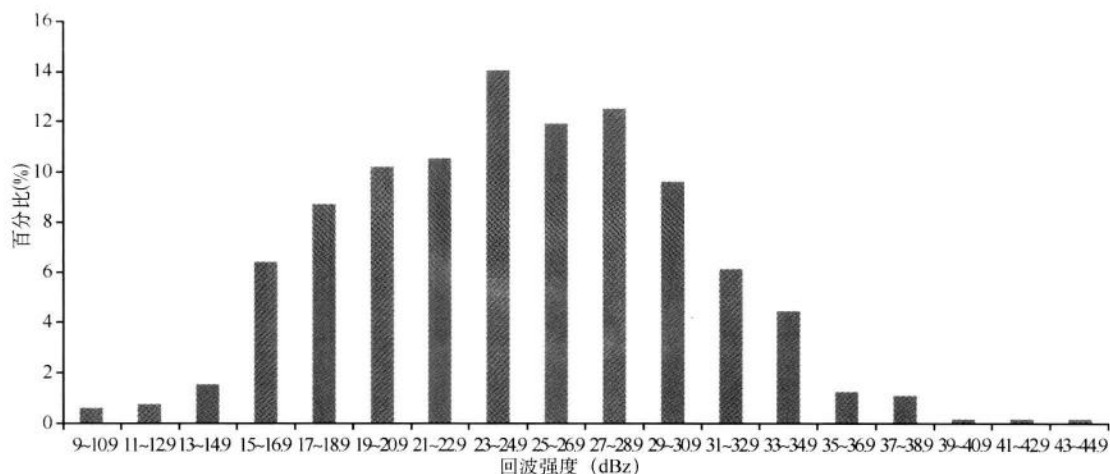


图6 不同回波强度下短时强降水出现百分比图

图7研究了不同降水等级下回波强度统计特征。从图7可以看出,当回波强度 <15 dBZ时,强降水发生的百分比都较小,随着回波强度的增大,到 >21 dBZ时,强降水发生的百分比迅速增大;此外另一个明显特点是当回波强度在 $36\sim38.9$ dBZ时,30 mm以上降水发生概率最大。

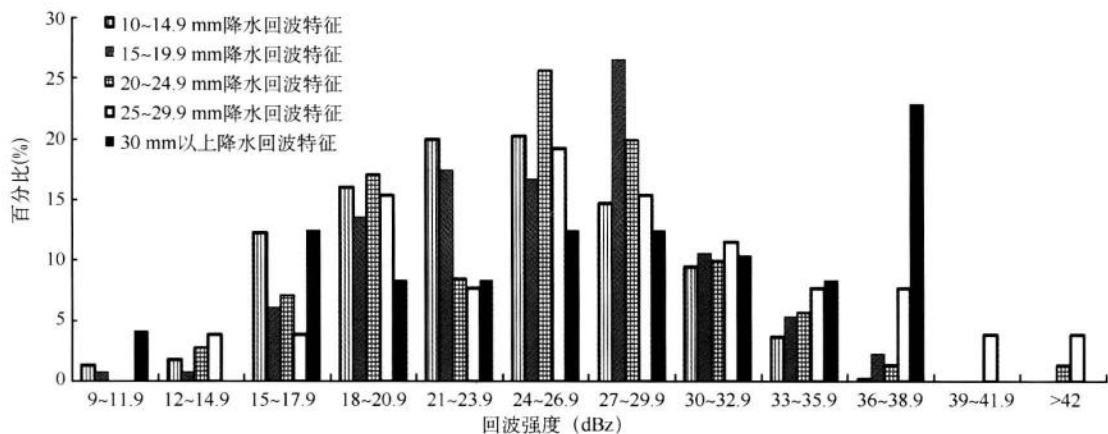


图7 不同降水等级下雷达回波强度统计特征

图8统计了短时强降水时雷达回波上对应云团的尺度和面积。从图可以看出,在20 km以下的强降水发生频数占到了75%,表明大多数强降水都属于局地性降水,从面积上看,回波面积在百公里以下的也占到了将近70%。此类降水突发性强,局地性强,利用传统预报手段预报难度大,但往往降水强度大,灾害性强,容易诱发次生灾害,雷达成为做短时临近预报的一个有效手段。

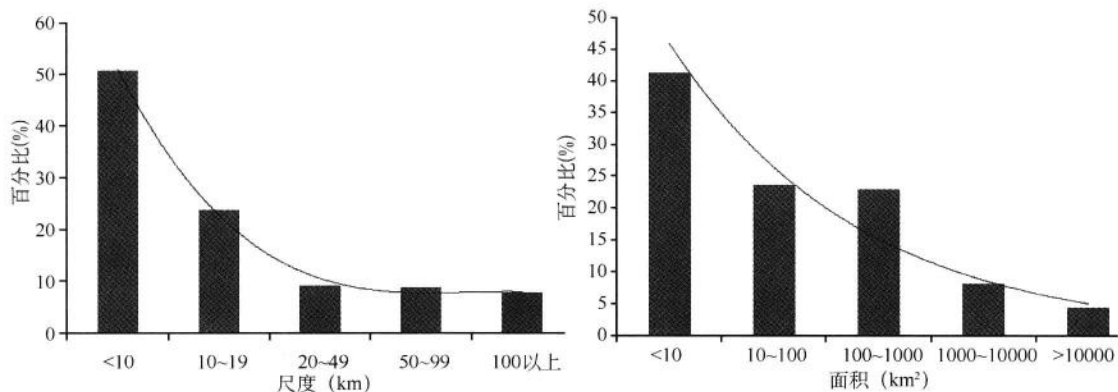


图8 短时强降水时雷达回波上对应云团的尺度(a)和面积(b)分布图

4 雷达反演降水关系

从强降水和雷达回波特征可以半定量地了解回波强度和降水的关系,为了能更进一步定量预报降水,进行了一些定量反演降水的研究。由于雨滴谱的取样非常困难,得到的关系也不具有普适性,本文通过采用最优拟合的方法来反演降水。多普勒雷达大约 5~7 分钟做一次扫描,1 小时有十次扫描,对以站点为中心,半径 1 000 m 内,对 ≥ 15 dBz 的雷达回波进行 Barnes 插值得到一个加权强度,对 10 次扫描取平均,得到平均回波强度,根据下式(马慧,2008):

$$Z = 10^{\text{dBz}/10} \quad (7)$$

将回波强度换算成反射率因子 Z ,单位为 $(\text{mm}^6 \cdot \text{m}^{-3})$,用反射率因子进行降水反演。

图 9 是在不同距离处,雷达回波反演降水和其他关系式的对比图。可以看出和地形云降水的统计关系式($Z = 31 \times I^{1.7}$)较为接近,这是因为在河东地区小时降水超过 10 mm 的多为局地对流性降水,但仍然可以看出比地形云降水关系式反演的更好;与美国用 WSR-88D 雷达根据深对流云统计的关系式($Z = 300 \times I^{1.4}$)相差较大,而这也是我国新一代天气雷达所采用的降水算法(姚燕飞,2007),可以发现这一关系与西北地区的降水特点相差很大。虽然和地形云降水关系式较为接近,但仍然表现出了更加敏感的特性,差异也较大,这主要是由于靠近青藏高原,地形更加特殊,受高原季风和复杂地形的影响导致了特殊性。

表 3 列举了在不同距离情况下的降水关系式,可以发现随着距离的增大, a 值在减小, b 值在增大,说明回波强度变得越来越敏感。这主要是由于雷达波束存在随距离衰减的问题,此外还受地形影响而导致的。

用雷达反演降水,即使是在一个小时内也在不断变化,加之每一次降水产生的云层高度不一样,从技术上讲还有雨量的测量、雷达的虚假回波等问题,这些都限制了雷达反演降水准确度的进一步提高。

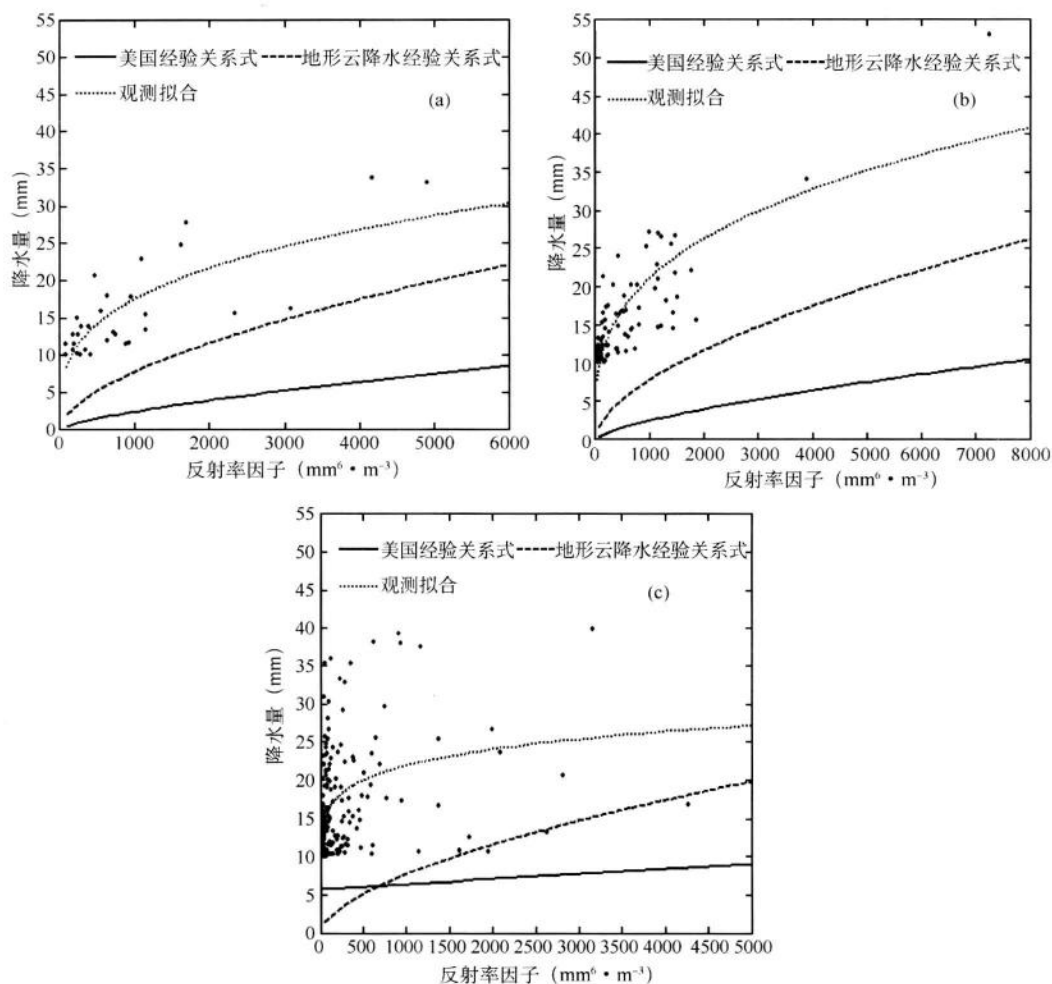


图9 0~25 km(a)、25~70 km(b)、70~150 km(c)处雷达反演降水关系的对比

表3 不同距离情况下回波反演降水关系式的比较

	a	b	R-square
0~25 km	2.303	2.127	0.674 5
25~70 km	1.49	2.113	0.794 5
70~150 km	1.21	2.552	0.814 5

图10进行了用液态含水量和旋转速度反演降水的初步研究。液态含水量是根据第2节的算法得出的,它反映了云中含水量的多少,从理论上是影响降水的一个重要因子。旋转速度是正负速度绝对值的1/2(俞小鼎,2006),旋转速度越大,即辐合越强,越有利于产生降水。从图10可以看出表现出了一定的关系,但还需要进行进一步的研究。

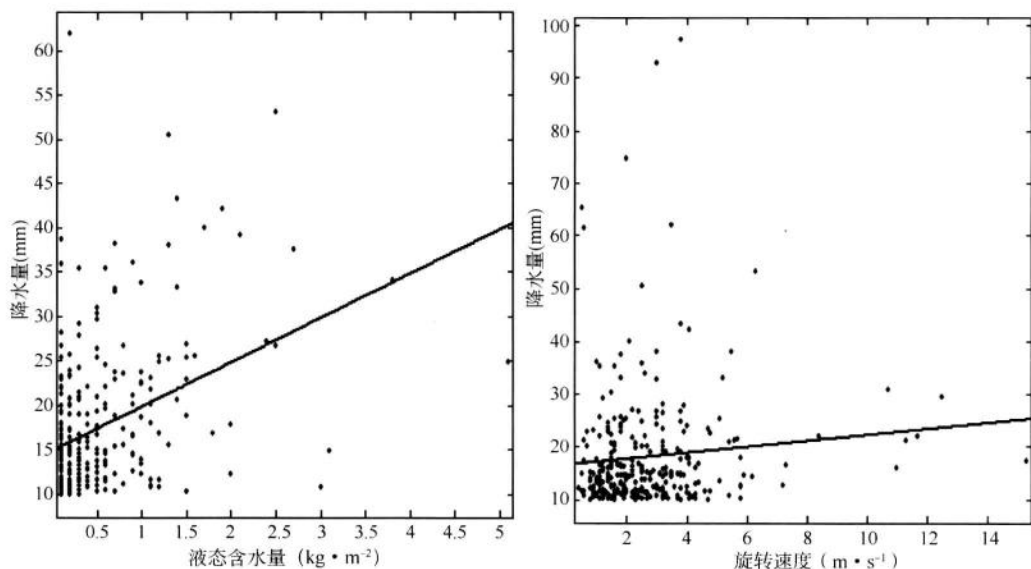


图 10 用液态含水量(a)和旋转速度(b)反演降水

5 结论与讨论

本文把自动站降水和区域站进行对比,发现在自动站观测到降水较少时和区域站比较一致,随着自动站观测降水的增大,二者的绝对差在逐渐增大,但是区域站平均降水量也在增大,这反映了西部地区的降水特点,“十里不同天”;另外也发现当降水较小时区域站观测的最大降水量远大于自动站,这也表明在以后的科研和业务中都必须考虑区域站,原有的气象站点并不能较好地反映局地降水;得到了河东地区短时强降水的时间分布特征,发现从凌晨到中午是个逐渐减少的趋势,13时达到最低,而后逐渐增加,到19时达到最大,具有明显的地方性特点,发现是由于受高原季风的影响;在半定量探讨降水和回波的关系时,得出平均回波 <15 dBz时强降水发生的百分比较小,平均回波 >21 dBz时发生百分比迅速增大;定性分析了河东地区降水的尺度分布,发现在河东地区10 km左右的尺度占了50%多,这可能是近年高原的边缘地区气象灾害频发的一个主要原因;最后进行了雷达反演降水的初步研究,对用雷达基本物理量反演降水做了一些讨论。

采用最优拟合的方法来确定降水关系式,具有理论基础,实践上也有较强的可操作性,普适性也较好,但由于对雨量的测量、降水类型的千差万别、复杂的地形等客观因素都限制了准确度的提升。但是,雷达资料反演降水是一项很有意义的工作,可以提升降水的定量预报准确率,对于气象服务、防灾减灾等都具有指导意义。在以后的研究中,可以采用权重法取多个仰角的强度,建立多因子的降水关系式,比如结合雷达探测的径向速度和液态含水量等产品来反演降水,可能会取得较好的效果。

本文的工作是在众多学者研究的基础上的进一步探讨,和将研究成果转化为实际业务应用的一种尝试。其中有许多地方有待在今后的实际业务应用和服务中进一步改进和完善。

参 考 文 献

- 白肇烨,徐国昌.中国西北天气.气象出版社,1988.
- 付双喜,安林,康凤琴,等.2004. VIL 在识别冰雹云中的应用及估测误差分析.高原气象,23(6):810-814.
- 郭慧,黄涛,邓茂芝,等.2007.甘肃天水地区 45 a 来强降水与洪涝灾害特征分析.冰川冻土,29(5):808-812
- 胡明宝,高太长,汤达章.2000.多普勒天气雷达资料分析与应用[M].北京:解放军出版社,147.
- 林纾,陆登荣,王毅荣,等.2008.1960 年代以来西北地区暴雨气候变化特征.自然灾害学报,17(3):16-21.
- 刘红燕,陈洪滨,雷恒池,等.利用 2004 年北京雨滴谱资料分析降水强度和雷达反射率因子的关系.气象学报,2008,66(1):125-129.
- 刘治国,俞小鼎,陶健红,等.2008.青藏高原东北侧雹云单体最大垂直累积液态含水量的演变特征及其在降雹定时判断中的应用[J].气象学报,609-620.
- 马慧,万齐林,陈子通,等.2008.基于 $Z-I$ 关系和变分校正法改进雷达估测降水.热带气象学报,24(5):546-549.
- 肖艳娇.2007.新一代天气雷达三维组网技术及其应用研究.南京信息工程大学.
- 徐桂玉,杨修群.2002.我国南方暴雨一些气候特征的统计分析.气候与环境研究,7(4):447-456.
- 杨毅,邱崇践.2004.多普勒雷达资料格点化方案的比较研究.干旱气象,22(2):6-10.
- 姚燕飞.2007. $Z-I$ 关系对雷达测量流域面雨量和径流模拟影响的研究.中国气象科学研究院.
- 俞小鼎,熊廷南,姚秀萍,等.2001.新一代天气雷达原理与应用讲义.中国气象局培训中心,158-243.
- 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用.北京:气象出版社,2005.
- 俞小鼎,郑媛媛,廖玉芳,等.一次伴随强烈龙卷的强降水超级单体风暴研究.大气科学,2008,32(3):508-522.
- 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等.2006.安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析.高原气象,25(5):914-924.
- 曾欣欣,钮学新,杜惠良.2004.浙江省暴雨的天气气候分析[J].科技通报,20(5):397-401.
- 张家国,王珏,周金莲.2008.暴雨多普勒天气雷达回波特征分析及邻近预警.暴雨灾害,27(4):326-329.
- 张庆云,陶诗言,张顺利.2003.夏季长江流域的暴雨洪涝灾害天气气候条件.大气科学,27(6):1018-1030.
- 周鸣盛.1994.盛夏中国北方的超强区域性持续暴雨.气象,20(7):3-8.
- Barnes L. 1964. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 3:395-409.
- Browning K A. 1994. Developments in observational system for weather forecasting. *Meteorology Application*, 1:3-21.
- IPCC. Climate change 2007: *The Physical Science Basis*. Working group I Contribution to the Forth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007.
- Jones P D, Moberg A. Hemisphere and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*. 2003, 16:206-223.

酒泉西部一次强降水过程的中尺度天气图分析

吉惠敏

(兰州中心气象台, 兰州 730020)

摘要:中尺度对流天气预报的成败,主要取决于在业务预报过程中所做的分析。兰州中心气象台于2010年将中尺度天气图分析投入日常运行,成为日常预报的一个基本工具。本文按照中尺度天气图分析规范,对2011年6月15—16日甘肃酒泉西部的一次强降水过程进行分析。这次短时强降水过程,是在底层高湿,层结条件不稳定、并有强烈的深层反向垂直风切变的环境大气中,地面辐合线,触发较强上升运动导致的。分析表明,中尺度天气图分析技术可以在日常业务中发挥重要的作用。

关键词:中尺度天气图分析 短时强降水 分析规范

1 引言

暴雨、短时强降水等强对流天气,一般是在一定的大尺度环流背景下,由各种物理条件相互作用形成的中尺度天气系统产生的结果。由于这类天气发生时间短、强度大、空间分布不均,预报难度很大,做好暴雨和短时强降水预报是预报员永恒的课题。

中尺度对流天气预报的成败,从根本上取决于在业务预报过程中所做的分析。通过对造成中尺度对流性天气“潜势条件”分析,是目前预报这种天气的重要手段之一。

2010年,国家强天气中心借鉴美国空军全球天气预报中心和美国天气局风暴预报中心的强对流天气分析技术,参考我国的常规天气图分析和中尺度天气分析研究,建立了基于常规天气图的我国“中尺度对流天气主观/综合分析技术规范”,并在全国推广(国家气象中心,2010)。兰州中心气象台于2010年汛期在内部开展了日常中尺度天气图分析业务,于2011年汛期前提炼出了强对流天气发生发展的中尺度分析概念模型,进一步完善了业务运行,并向全省发布预报产品。

本文运用中尺度天气图分析技术,对2011年6月15—16日甘肃酒泉西部的一次强降水过程进行分析,以讨论中尺度天气图分析方法对甘肃河西短时强降水的预报作用,积累了经验,得到一些启示。

2 天气概况

2011年6月15日07时开始,甘肃省酒泉市的敦煌市、肃北县、阿克塞县出现强降雨天气。肃北县15日08时到16日08时24小时雨量达到73.7 mm,截止16日20时,敦煌市区累计降水13.6 mm,敦煌市阳关镇累计降水57.1 mm,肃北县党城湾镇降水82.1 mm(有气象

资料以来日降水量最大的一次),阿克塞县累计降水 96.1 mm。主要降水时段在 15 日 20 时到 16 日 08 时(图 1),其中 17 日 05 时敦煌工业园区 1 小时降水量达 23.5 mm。

根据气候资料,敦煌市年平均降水量仅 42 mm,肃北县年平均降水量为 63.2 mm,阿克塞县年平均降水量在 90~110 mm 左右,因此这次强降水无论雨量还是强度都属历史罕见。导致农作物大面积受灾、道路、桥梁被冲毁、厂房和通讯设施受损、房屋被淹或倒塌、机场、火车站停运等,共造成直接经济损失 2.2 亿元;强降水还造成莫高窟北区窟区进水,西千佛洞窟区出现地质下沉征兆,莫高窟停止对游客开放,在中外造成很大影响。

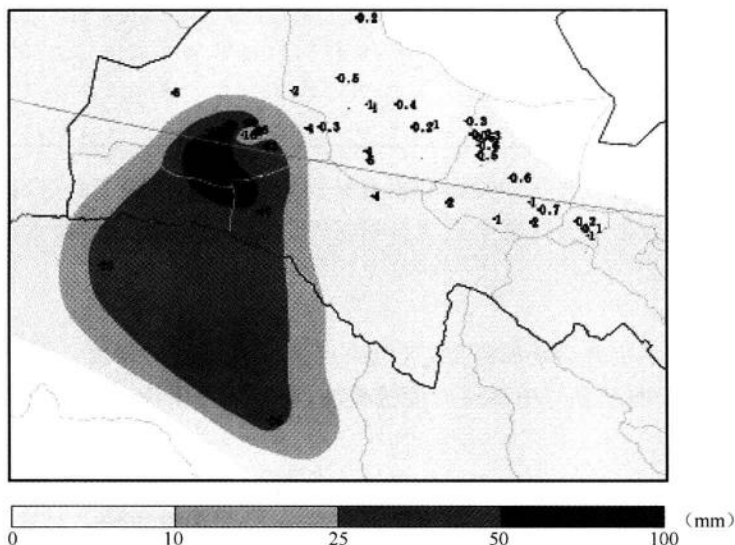


图 1 2011 年 15 日 20 时到 16 日 08 时 12 小时降水量分布

3 中尺度天气图分析简介

中尺度天气学分析方法的基础,是基于构成要素的预报方法(配料法)。造成强对流天气的 3 个主要条件是:水汽、不稳定、抬升机制。而中层干空气和强垂直风切变,则是有组织强对流发生发展的关键条件(俞小鼎等,2011)。

日常中尺度天气分析业务,是使用业务中能够及时获取的常规地面和高空观测资料,对水汽、层结稳定度、触发机制、垂直风切变、对流层干层等进行分析,了解其配置信息,并以此为依据做出强对流天气预报。

3.1 水汽

水汽的度量主要有两类:相对湿度和绝对湿度,其中相对湿度是指大气中水汽的饱和程度,是能否出现降水的关键指标。而绝对湿度是大气中含有水汽的质量比,是能否出现暴雨或强降水的重要指标。一般在地面和对流层低层分析绝对湿度、对流层中高层分析相对湿度。

在常规天气图上,温度露点差 $T - T_d$ 可代替相对湿度。在中尺度分析业务规范中,规定相对湿度 $< 30\%$ (或 $T - T_d > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) 为干区,相对湿度 $> 70\%$ (或 $T - T_d < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) 为湿区。

表 1 温度露点差与相对湿度对应表

$T - T_d(^{\circ}\text{C})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$f = e/E(\%)$	93	86	80	75	69	65	60	56	52	48	45	42	39	36	33

绝对湿度通常用比湿 q , 也可用露点温度 T_d 来衡量, 等压面上, 露点温度与比湿一一对应。

表 2 比湿与露点温度对应表

$T_d(^{\circ}\text{C})$		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
比 湿 g/kg	100 hPa	5.1	5.4	5.8	6.2	6.7	7.1	7.6	8.2	8.7	9.3	10.0	10.6	11.3	12.1	12.9	13.7	14.6
	925 hPa	5.5	5.9	6.3	6.7	7.2	7.9	8.3	8.8	9.4	10.1	10.8	11.5	12.3	13.1	13.9	14.8	15.8
	850 hPa	6.0	6.4	6.9	7.3	7.9	8.4	8.9	9.6	10.3	10.2	11.8	12.5	18.8	14.2	15.2	16.1	17.2
	700 hPa	7.2	7.8	8.3	8.9	9.5	10.2	10.9	11.7	12.4	13.3	14.3	15.1	16.1	17.3	18.4	19.6	20.9

水汽条件除了湿度, 还有水汽的输送和辐合条件, 在对数值预报产品进行分析时选用水汽通量和水汽通量散度; 在常规天气图上主要分析低空急流或显著流线与湿舌的配置。

3.2 层结不稳定

层结不稳定, 决定了上升运动的强度, 进而决定了对流天气的强度。在日常业务中, 主要分析 $T_{700-500}$ 温差、低层温度脊与中高层温度槽叠加、中高层冷平流、CAPE、SI、K 指数等。

3.3 辐合抬升条件

辐合条件是不稳定的释放机制, 是对流天气发生发展的关键条件。日常分析不要漏掉底层一切锋面、辐合、切变线、露点锋(干线)、能量锋区等。

3.4 中层干空气

主要作用是增强了热力不稳定性, 干暖盖可抑制一般对流, 有利于强对流的爆发。日常分析 500 hPa 相对湿度的干区。

3.5 垂直风切变

是有组织的强对流发展的必要条件。通过分析 200 hPa 急流和底层风场的配置来了解垂直风切变的情况。

3.6 分析的层次

兰州中心气象台日常分析地面、700/850 hPa、500 hPa、200 hPa 四个层次的中尺度天气图, 并最终形成一张综合图, 集中对当前天气有意义的所有重要的预报参数(兰州中心气象台, 2010)。

4 强降水发生前 6~12 小时(15 日 08 时)分析

图 2 是 15 日 08 时中尺度分析图, 地面图叠加了卫星云图。由图可见, 酒泉处于地面热低压的后部, 敦煌—瓜州—玉门—金塔为一片 $T_d > 10^{\circ}\text{C}$ 的高湿区, 其中玉门镇的 T_d 高达

14℃,这在干旱的酒泉市是不常见的。肃北已开始降水,在肃北和敦煌有3小时变压 ≥ 2 hPa,正3小时变压中心往往能反映中尺度雷暴云团的存在和强度。叠加的卫星云图上,阿克塞和敦煌上空已经被对流云团覆盖。08时地面图上没有分析出显著的辐合切变线。

在700 hPa,玉门镇及以东为干区,湿舌位于新疆中部,离甘肃还有一段距离。柴达木盆地上空有一低涡环流,中心在冷湖,敦煌处于低涡环流的北部。从南疆有负变温区伸展到敦煌、阿克塞、肃北一带。敦煌的 $T_{700-500}=22^{\circ}\text{C}$,根据温度对数压力图(图略),敦煌500 hPa以下的温度递减率远大于湿绝热递减率,接近干绝热递减率。

500 hPa,新疆中部到西藏西部为低压槽,西藏东部到柴达木盆地有一偏南风显著流线,酒泉西部已被湿区覆盖,敦煌到阿克塞有24小时负变温。

200 hPa,高空急流偏东,但酒泉西部上空200 hPa风向与700 hPa风向反向,敦煌上空垂直风切变大于40 m/s,有利于有组织的强对流发展。

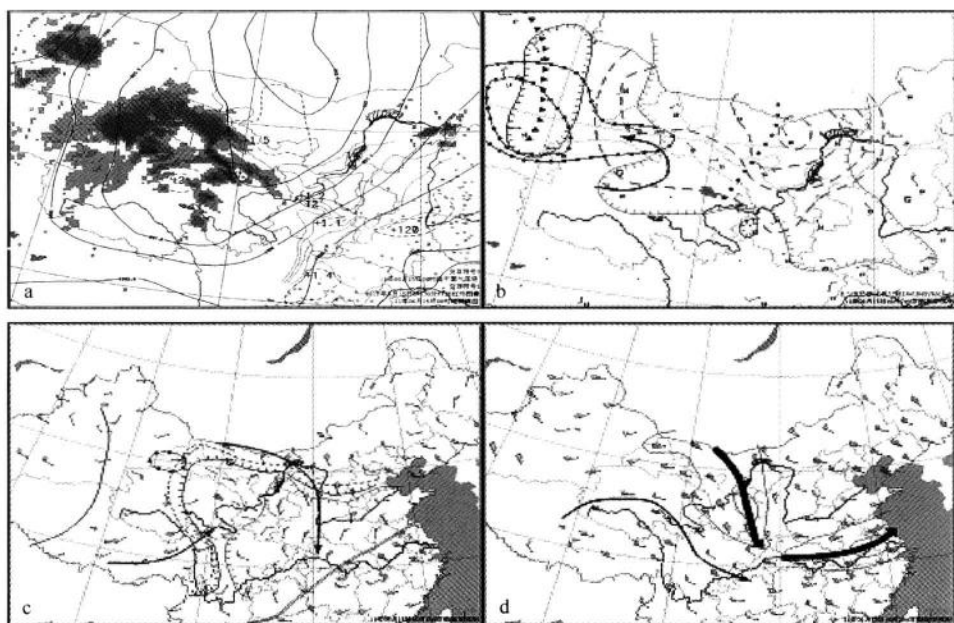


图2 2011年6月15日08时中尺度分析

(a. 地面;b. 700 hPa;c. 500 hPa;d. 200 hPa)

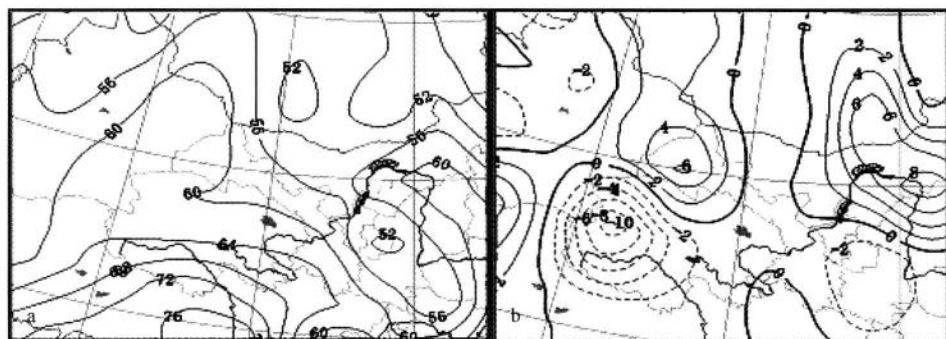


图3 2010年6月15日08时物理量

(a. 700 hPa 假相当位温;b. 700 hPa 温度平流场)

在 15 日 08 时 700 hPa 假相当位温图上,河西西部为大值区, $\theta_e > 297$ K,表明低层为高能气团控制,为强对流发展提供了良好的环境。15 日 08 时 700 hPa 温度平流分析,700 hPa 河西西部为暖平流,有利于热力不稳定的发展。注意 700 hPa 暖平流跟 24 小时负变温的分析有矛盾,估计是 24 小时负变温只能代表过去的温度变化,不能较好反映现时的温度变化。

综合分析:08 时地面湿度好,700 hPa 能量条件也较好,但相对湿度较小,抬升机制也未形成,虽然温度直减率较大,但由于水汽条件不足,不稳定度条件也未具备,垂直风切变条件较好,但要在对流发展起来才能起作用。未来 500 hPa 低压槽东移,700 hPa 湿度条件可望改善,抬升条件也将转好,总的来说,趋势向有利强对流转变。

5 强降水临近发生前(15 日 20 时)分析

图 4 是 15 日 20 时中尺度分析图,20 时地面图上,酒泉西部出现了一个辐合切变线,敦煌、肃北、瓜州、玉门镇地露点温度仍 > 10 °C, $T_d = 14$ °C 的湿度中心转移到敦煌。

700 hPa 在阿克塞—肃北南部有东西向切变线,地面和 700 切变线的出现有利于气流的抬升。河东到酒泉形成一东风气流带,有利于河东高湿区水汽向酒泉输送。700 hPa,柴达木盆地高空为湿舌,酒泉西南部虽然相对湿度仍未达标,但比湿上升到 7 g/kg。

500 hPa 在阿克赛敦煌肃北上空有 24 小时负变高中心,这个中心可反映 500 hPa 负涡度平流,一般来说,利于上升运动。另外 500 hPa 上述地方处于相对湿度 $> 80\%$ 的区域内。

200 hPa 高空风与 700 hPa 风仍为反向,垂直风切变较大。

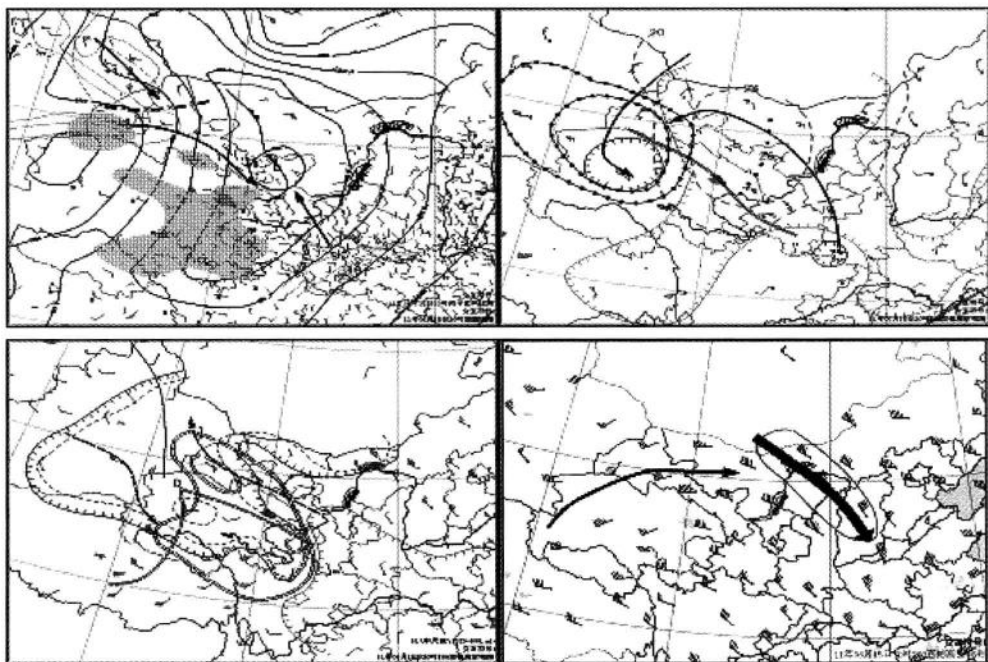


图 4 2010 年 6 月 15 日 20 时物理量(左 700 hPa 假相当位温;右 700 hPa 温度平流场)

从 15 日 20 时 700 hPa 假相当位温分布上看(图略),酒泉西部的假相当位温进一步加大。15 日 20 时敦煌 $T-\ln p$ 图上(图 5),700 到 500 hPa 的层结曲线与干绝热线平行,但由于底层有逆温,有较大的对流抑制。

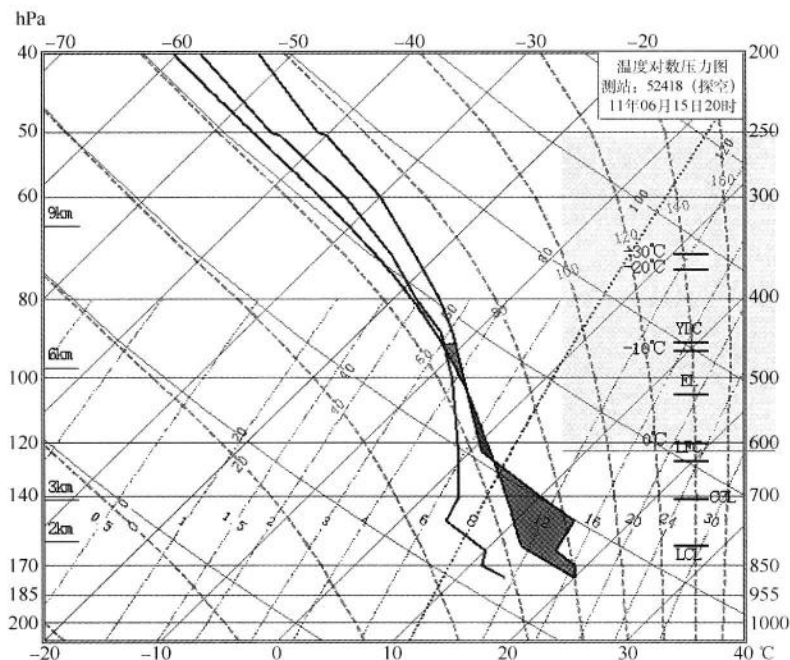


图 5 2010 年 6 月 15 日 20 时敦煌温度对数压力图

综合分析:20 时地面水汽条件维持较好,700 hPa 水汽有明显改善,能量条件进一步上升。柴达木盆地为湿舌,河东到酒泉的东风气流建立,有利于水汽输送。20 时比 08 时最明显的改善是地面和 700 hPa 出现了辐合切变线,有利于强迫抬升,突破底层的对流抑制。500 hPa 在强降水区上空为负变温中心,这些都表明:20 时的上升运动明显强于 08 时。

6 强降水减弱时(16 日 08 时)分析

图 6 是 16 日 08 时中尺度分析图,这时主要强降水时段已结束,地面图上,酒泉西部的地面辐合线已减弱东移,露点温度仍较大,湿区向东扩。

700 hPa 玉门镇到肃北有切变线,强降水上空相对湿度达到湿舌标准。河东到酒泉形成的东风气流依然维持, $T_{700-500}$ 减弱,层结趋于稳定。

500 hPa 阿克塞到肃北的切变线依然维持,河西西部仍有负变高中心,但强度减弱,河西相对湿度有所增大。

200 hPa 高空风与 700 hPa 风转为同向,且 200 hPa 高空风较小,垂直风切变较小。

在 16 日 08 时敦煌 $T-\ln p$ 图上(图 7),虽然 500 hPa 以下为不稳定能量,但分析层结曲线发现,550 hPa 以下层次的层结曲线与湿绝热线平行,有些层次温度递减率甚至小于湿绝热线。

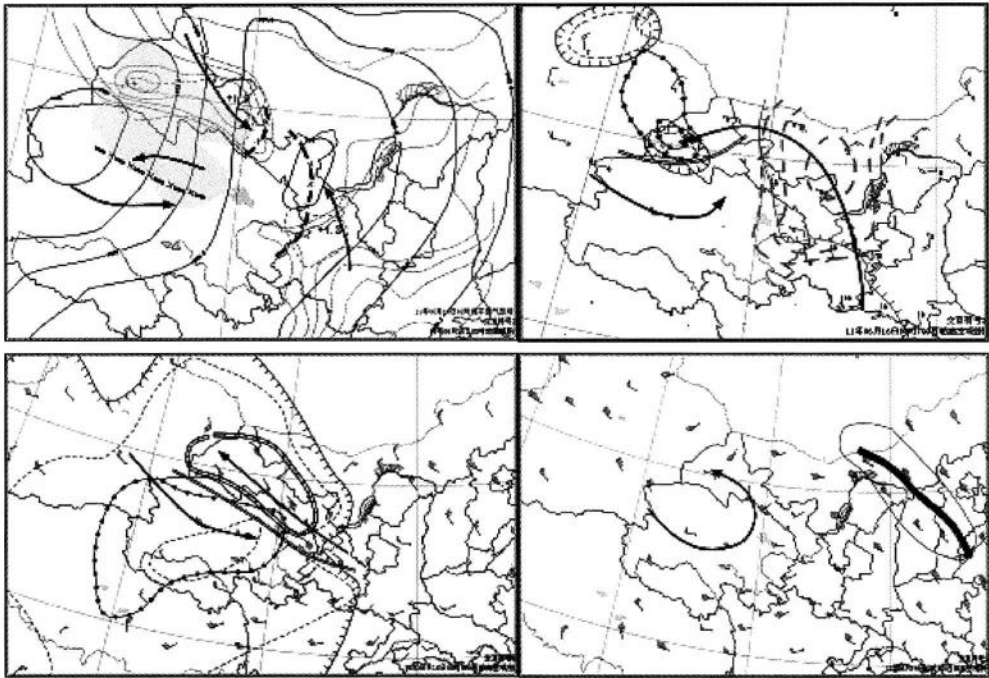


图 6 2010 年 6 月 16 日 08 时物理量(左 700 hPa 假相当位温;右 700 hPa 温度平流场)

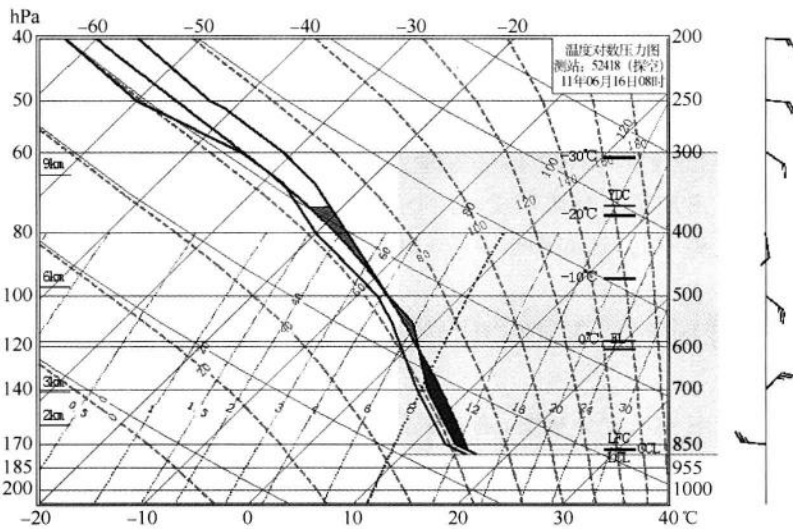


图 7 2010 年 6 月 16 日 08 时敦煌温度对数压力图

综合分析:08 时的水汽条件比 15 日 20 时不但没有减弱,反而有所加强,但地面切变线减弱东移,500 hPa 负变高减弱、层结趋于稳定、垂直风切变减小,这说明 08 时后降水将明显减弱。

7 结论

运用中尺度天气图分析技术,对 2011 年 5 月 15 日 08 时到 16 日 08 时的 500 hPa、700 hPa、200 hPa 和地面图进行分析,结果表明:强降水发生前,酒泉西南部处于条件不稳定、强烈的深层(700 hPa 到 200 hPa)反向垂直风切变之中,地面绝对湿度较大,到 20 时地面出现辐合切变线,就触发了较强上升运动,导致夜间出现强降水。

分析表明,底层高湿是强降水的必要条件但不是充分条件,次日 08 时水汽条件虽然更加有利,但伴随地面辐合线的消失、垂直风切变的明显减弱,以及层结趋于稳定,使得强降水难以为继。

另外,对本次过程的分析表明,利用 $T-\ln p$ 图了解层结稳定度,不能仅仅看 CAPE 值的大小,还应该关心层结曲线相对于干绝热和湿绝热线的斜率大小,以判断热力稳定度的状况。

参 考 文 献

- 国家气象中心. 中尺度天气图分析技术规范(暂行稿). 2010,3.
俞小鼎. 基于构成要素的预报方法—配料法,气象,2011,(08)914-918.
兰州中心气象台. 兰州中心气象台中尺度天气图分析规范. 2010,9.

“7·23”甘肃东部罕见大暴雨诊断分析

樊晓春,王若升,王丽娜,李常德,吴颖娟,曾继荣

(平凉市气象局,甘肃平凉 744000)

摘 要:利用常规观测资料、自动气象站雨量、实时探空、天气图、T213、T639 数值预报产品、FY 22C/2D 红外卫星云图资料以及 NCEP 再分析资料,对 2010 年 7 月 22—26 日发生在甘肃西北地区东部平凉市罕见大暴雨天气过程进行了综合诊断分析。结果表明:异常的环流,稳定的大尺度系统,700~300 hPa 深厚的低涡,500 hPa“人”字型低涡切变及 SW 急流、SE 急流和高空急流的共同作用下,造成甘肃东部平凉中东部罕见的大暴雨天气;卫星云图上表现为在低涡云带东侧不断有新生发展合并的中 β 、中 γ 尺度云团;大暴雨的发生发展与垂直螺旋度的时空演变有很好的对应关系,大暴雨区出现在正垂直螺旋度中心移动的前方,对区域性大暴雨的落区有一定的指示意义。

关键词:甘肃 大暴雨 发生机制 螺旋度 云图 动力条件

1 引言

甘肃由于受地理位置、海拔高度、水汽输送等因素的影响,发生暴雨的几率并不大,极端大暴雨的事件出现非常小,但一经出现,常造成较严重的灾害,因此曾有过不少研究(李栋梁,2000;马鹏里等,2003;郭大海等,2008;樊晓春等,2008)。甘肃东部的平凉市年平均降水量 420~599 mm,年平均暴雨 0.6 天,可 2010 年 5 月 25—26 日就出现了当年第一场暴雨,7—8 月又相继出现了“7·23”大暴雨、“8·11”、“8·18”暴雨,特别是“7·23”大暴雨,政府公布的灾情调查称:这次强降水造成的灾害,范围之广、程度之重、损失之巨,均为历史上所罕见。因此,有必要对这次大暴雨过程的成因从天气学、物理量场诊断等进行细致的分析比较,总结其特征规律、提炼业务应用的预报指标方法,以提高甘肃大暴雨的预报准确率以及服务能力,为党政部门提前提供有参考价值的决策依据,减少或避免损失。

2 大暴雨天气实况

2010 年 7 月 22—26 日,在甘肃东部出现了一次强降水天气过程,降水的极大中心位于平凉市,强降水集中在 22—24 日,辖区 7 县(区),就有 5 县(区)降水量在 189~238 mm,其中,23 日 3 个站降水量超过了有气象资料以来的历史极大值。区域站资料显示,5 县(区)乡镇最大降水量在 186.7~319.4 mm,33 个乡镇降水量达 50 mm 以上,21 个乡镇达 100 mm 以上,11 个乡镇达 200 mm 以上,最大降水出现在灵台县朝那镇为 319.4 mm(见图 1a)。

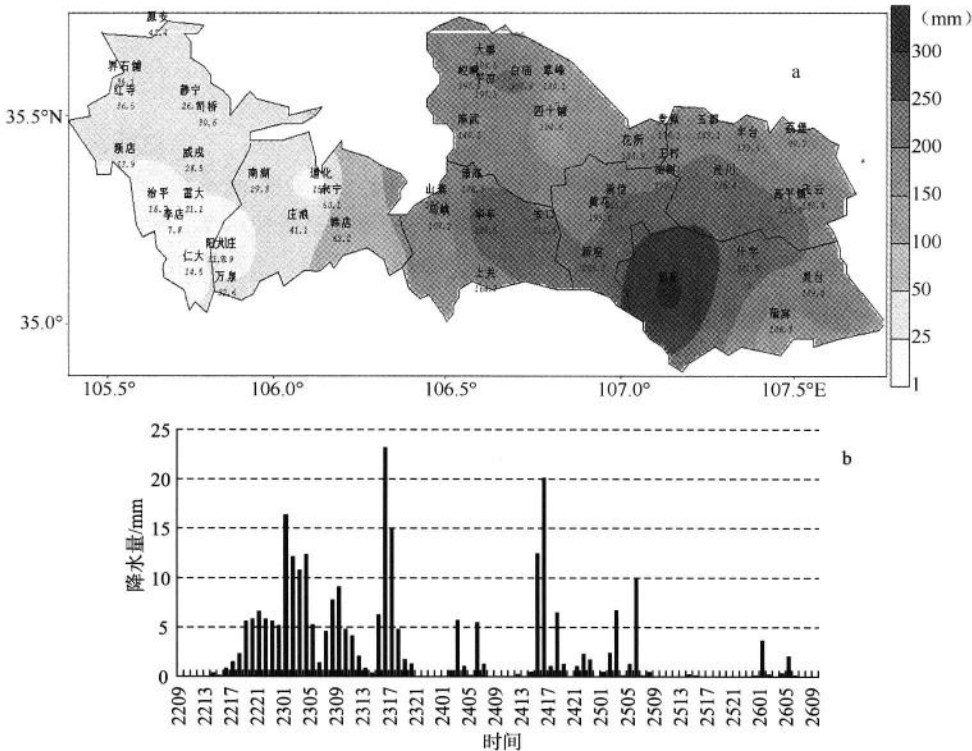


图1 2010年7月22日08:00至24日20:00平凉市降水量(a)和22日08:00至26日09:00华亭自动气象站逐时降水量(b)(单位:mm)

事实上,这次降水过程是从7月22日09时开始持续到26日06时,强降水主要集中在22日18:00至23日21:00,24日华亭再降暴雨,25日白天到夜间降水减弱,除华亭降大雨外,其余以小雨为主,26日9:00过程结束。分析华亭单站逐时雨量变化(图1b)可看出,这次降水华亭从22日13:00开始,26日06:00结束,期间出现3次雨强的增幅,分别是22日18:00至23日09:00,历时17小时,雨量达113 mm;23日14:00—17:00,3小时降水量44.5 mm;24日14:00—16:00,2小时降水量32.5 mm。

这次罕见的大暴雨过程造成平凉市大范围农田冲毁、桥梁冲断、道路塌陷、民房倒塌、电力中断、城市内涝、山体滑坡等严重灾害,其中24日1时40分华亭县东华镇因强降雨引发山体滑坡,13人遇难。

3 成因分析

3.1 环流背景及主要影响系统

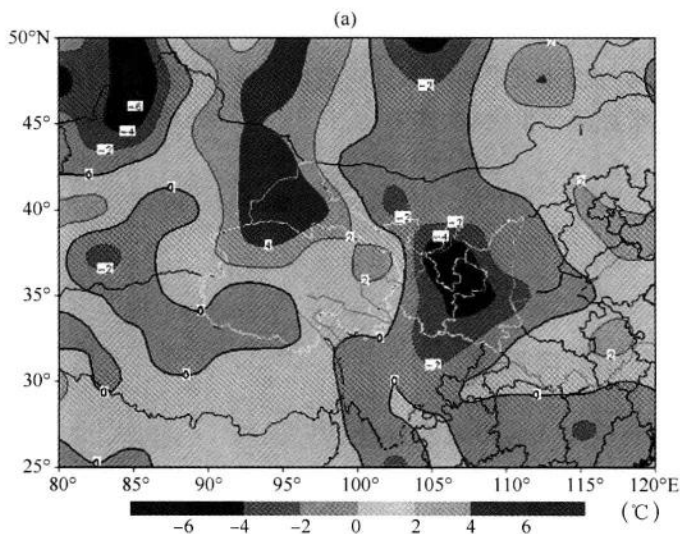
3.1.1 蒙古暖高压和西北涡的形成及维持

在这次大暴雨前期,7月20日08:00,亚欧中高纬地区呈两槽一脊形势,两槽分别位于乌拉尔山地区到巴尔喀什湖、鄂霍次克海到东北地区,高压脊位于贝加尔湖南部至蒙古到高原,

并在蒙古附近形成一闭合高压;21日08:00,高压脊西部存在强烈的暖平流,暖高压脊继续向东北伸,为NE-SW走向,使脊前低压槽发展加深,环流趋向度明显加大。22日08:00,在蒙古高压中心南部,银川—兰州—陇东附近形成一闭合低压(下称西北涡)。由于广东沿海附近的3号台风“灿都”的由南向北移动,稳定强大的副热带高压(下称副高)西伸继续北抬,其位置较历年同期偏北(30°N),阻挡东北低压槽东移南压,使其向SW不断延伸,将携带的冷空气从东向西嵌入到西北涡中,并不断补充,使其发展,在陇东上空稳定维持3天,形成深厚的低涡(700~300 hPa均为低涡,对应涡度图上,持续暴雨期间平凉上空各层一直维持正的涡度大值区,垂直涡度大的系统与剧烈天气现象联系密切),这种形势历史少见。23日08:00,500 hPa有“人”字型切变线(图略),分别位于平凉南部崆峒—华亭一带和东南部的崇信—泾川到灵台一带,低涡的东侧有两股气流,一股是来自孟加拉湾的偏南气流,风速增大到 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,另一股是来自台风灿都外围的东海南海偏东气流,偏东风风速为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,为平凉中东部带来充沛的水汽;此外在200 hPa,低涡的西北方向有一支 $32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风急流带,急流轴呈西北—东南走向(图略),研究表明(徐海明等,2001;王小曼等,2002)高空急流轴向西北—东南方向的倾斜可以形成其出口处右侧的强辐散形势,从而诱使低层低值系统、低空急流以及暴雨的发生发展,即倾斜的急流轴更有利于暴雨的发生。由于副高的西伸,台风灿都的北移,使得中高纬度系统稳定,西北涡移动缓慢,对大暴雨的形成十分有利。可见异常的环流,稳定的大尺度系统,700~300 hPa深厚的低涡,500 hPa“人”字型切变,高低空急流,在其共同作用下造成了平凉中东部罕见的大暴雨天气。

3.1.2 冷空气活动特征

暴雨的产生和发展除了与暖湿气流息息相关外,还与冷空气的活动密不可分。欧洲数值预报产品资料(以下简称EC)850 hPa温度场对异常冷空气移动路径的预报在这次过程中反映清楚,这次大暴雨过程前,在EC 850 hPa 20时温度实况和预报场上均反映7月22前甘肃陇东一直处在 24°C 线左右(图略),实况是陇东大部分地方已持续5天 30°C 左右的高温天气,地面能量积蓄;21日20时EC 850 hPa温度场、海平面气压场预报22日20时突然有冷温度舌从东向西伸至甘肃陇东,降温幅度达 4°C (图2a),海平面气压预报场反映,22—25日不断有冷空气补充,26日冷空气减弱(图2b)。实况是冷空气从东北部向西南于22日傍晚前后开始将影响陇东一直持续到25日。



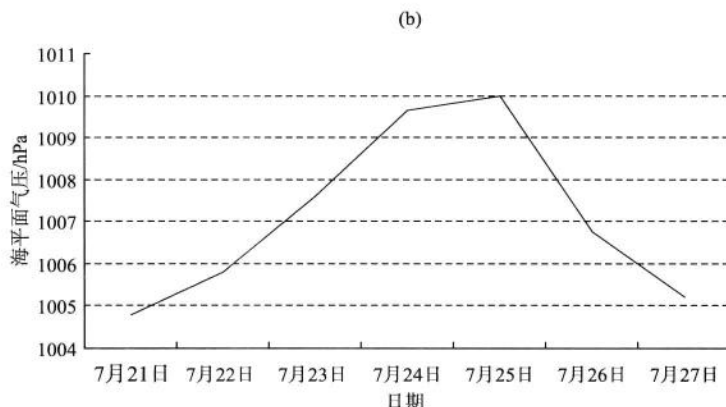


图2 EC 21日20时850 hPa温度场24小时预报(a)和EC 21日20时平凉格点海平面气压6天预报曲线(b)

正是由于有冷空气通过切变线不断向东输送,涡区斜压性加强,低涡才得以维持和发展,从而造成持续强降水天气,东路冷空气是平凉这次强降水天气的直接影响系统。

3.1.3 低涡切变中的暴雨云团

分析大暴雨过程的云图发现,在7月22日19时至23日20时降水集中时段在平凉中东部不断有 β 中、 γ 中尺度云团在低涡云带东南侧新生、发展、合并,低涡切变云带内,由特殊条件激发出的中尺度暴雨云团,是平凉大暴雨的直接影响系统。

22日17:00,在西北涡东侧切变线上有切变云系生成,随着低涡的发展,云带内不断有中小尺度暴雨云团被激发出来,这些云团沿着切变线,随着东路冷空气向西爆发,嵌入低涡,气旋性环流加强,上升运动不断加强,东风急流和偏南风急流不断向云内卷入,22:20在平凉上空形成椭圆型暴雨云团,面积近2万 km^2 ,此后该云团稳定维持并发展,形成 γ 中尺度云团,随后在该云团内又镶嵌着直径更小的 γ 中尺度云团,直到23日20时才略有东移,历时28小时,造成平凉中东部持续的暴雨天气(图略)。此后,低涡南移,东侧切变消失,转为典型的雷雨形势,分别于24日、25日下午在其控制的西南象限平凉市的中部(华亭、崆峒、崇信等)出现短时强降雨或阵雨天气。

3.1.4 探空参数分析

这次大暴雨过程表征为对流不稳定性质,选取大暴雨区最近的平凉崆峒探空站21日08时至24日20时探空资料进行对比分析(表1),反映出暴雨过程前垂直方向上500 hPa维持稳定偏东风,降水当天22:08风向突转SW风,风速迅速增大到 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,22:20增至 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,700 hPa偏南风风速增大了 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,达 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,降水前到持续时段K指数稳定在 30°C 以上,22:20最大达 37°C ,沙氏指数基本小于 3°C ,CAPE值(对流有效位能)22:20突增到 $354.2 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,平凉崆峒站 $T-\ln p$ 图层结反映有正的不稳定能量。以上说明21日08时至23日08时700 hPa偏南风急流形成并加强,500 hPa降水当天转SW风并加大,十分有利于中低层水汽输送,加之对流不稳定度增大,这次持续大降水具备产生不稳定降水的条件,但由于对流有效位能偏小,不易产生强对流天气。

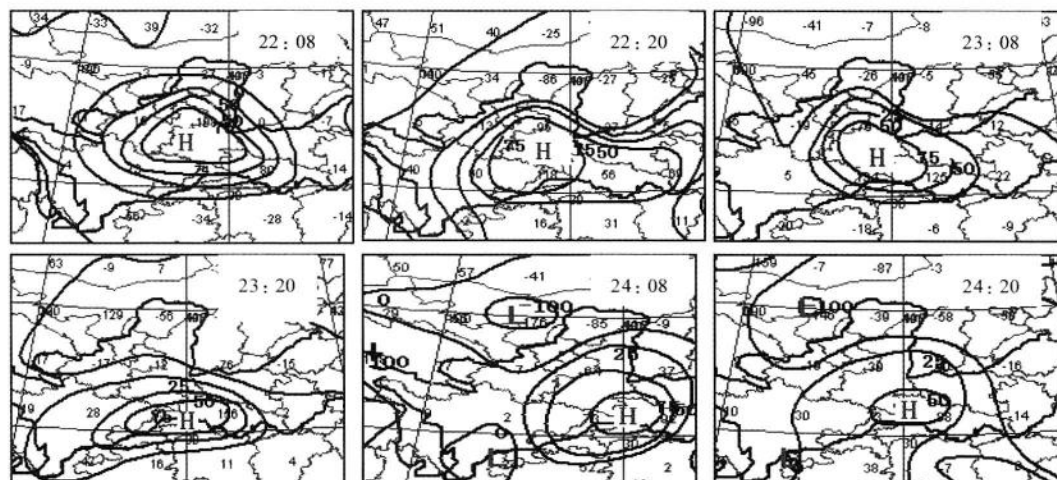
表 1 大暴雨过程前后平凉崆峒站探空参数变化

名称	21:08	21:20	22:08	22:20	23:08	23:20	24:08	24:20
500 hPa 风向/ $^{\circ}$	105	90	225	225	245	340	175	130
500 hPa 风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3	2	7	12	3	10	7	11
700 hPa 风向/ $^{\circ}$	165	165	175	130	110	60	140	140
700 hPa 风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	11	10	10	13	12	4	3	9
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$	35	32	34	37	32	35	33	34
沙氏指数/ $^{\circ}\text{C}$	0.22	5.44	1.92	0.29	2.98	1.39	2.44	0.98
CAPE/ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	119.9	0.4	3.3	354.2	0	0	20.3	6.8

3.2 物理量诊断分析

3.2.1 螺旋度

螺旋度对暴雨是一个相关性较强的参数,在一定程度上不仅能反映系统的维持状况,还能反映系统发展及天气现象的剧烈程度。螺旋度作为暴雨天气分析的一个重要物理量,在国内外暴雨研究中已有广泛应用(候瑞钦等,2003;岳彩军等,2006;迟竹萍等,2006),并取得了不少有意义的结果。实际工作中,常用垂直方向上的螺旋度进行诊断分析。研究表明,中低层正垂直螺旋度中心和强度的变化对特大暴雨有明显的影响。利用 7 月 22 日 08 时至 24 日 20 时 T213 数值预报产品 400 hPa 至地面 5 层流场客观分析格点资料进行计算,发现在持续暴雨期间,有一个正值中心一直稳定在平凉中东部(图 3),23 日 20 时大值中心减弱东南移,第一阶段的强降水结束,24 日 08 时又西进回升,中部又出现第二阶段强降水,20 时再次减小快速东移,强降水趋于结束。

图 3 2010 年 7 月 22 日 08 时至 24 日 20 时垂直螺旋度(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

3.2.2 涡度和垂直速度

为了说明暴雨日涡度垂直方向动力特征,用 NCEP 再分析资料沿 106°E 制作了涡度、垂直速度剖面图(图 4a、图 4b)。分析在本次过程的开始期(22 日 08 时代表过程的开始期)、发

展期(以降水集中时段的23日02时代表过程的发展期)和消亡期(以降水趋于东移、减弱时段的25日08时代表),影响系统西北涡的动力场特征。

在过程开始期,22日08时500 hPa西北低涡形成,35°N甘肃陇东上空从低层850 hPa到高层200 hPa均为正涡度柱,最大正涡度中心位于250 hPa附近,达 $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,500 hPa以下正涡度值比较小。垂直速度剖面图显示,与正涡度柱相伴的为上升和下沉运动临界区,上升运动不明显,降水过程开始以小雨为主。

在过程发展期,西北低涡发展并维持,在垂直剖面图上陇东上空整层正涡度柱的范围和强度明显增大,大于 $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度值范围较过程开始期有了明显的增大,且中心下移到400~500 hPa,一直持续到23日20时,与正涡度柱相伴的是比较宽广的上升气流区(图4)。正是由于发展的正涡度柱并伴有宽广上升气流导致了这一强降水时段。

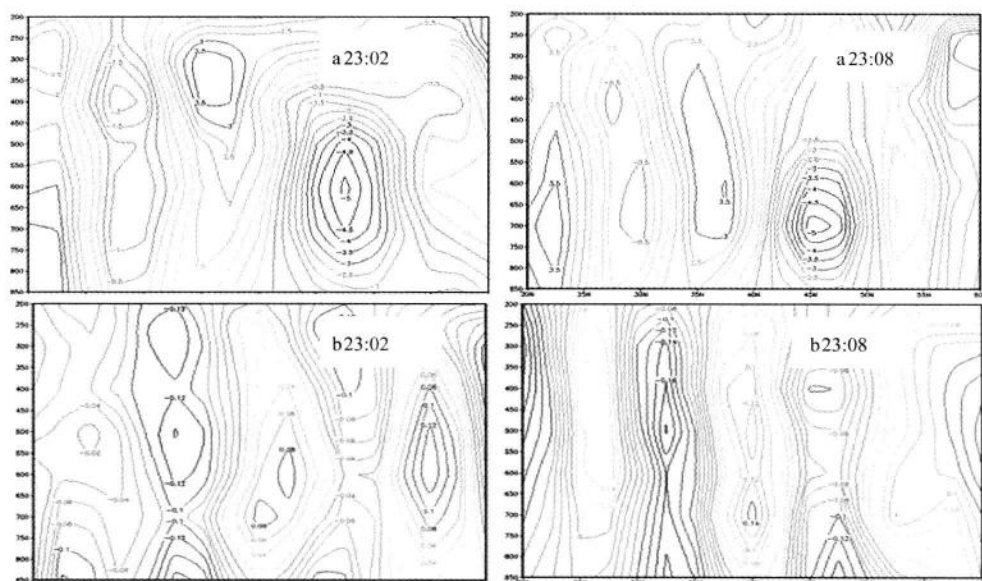


图4 a 2010年7月23日02时、23日08时涡度沿106°E剖面

b 2010年7月23日02时、23日08时垂直速度106°E剖面

在过程消亡期,正涡度柱厚度比过程发展期要浅薄一些,基本维持在500 hPa以上层,500 hPa正涡度值也较过程发展期减小了,与之相伴的气流基本转为下沉气流。正是由于正涡度柱减弱变薄、上升气流东移造成了降水减弱、东移。由此可见,与上升气流相伴的强而深厚的正涡度柱是产生本次强降水过程的重要因素之一。

3.3 各种数值预报模式及平凉降水预报系统检验

选取日本、德国、T213、T639、MM5、瑞万思等模式24—48小时对这次大暴雨的预报,并制作图5,可见,这次大暴雨前24—48小时,除日本、德国降水量预报在50 mm以上,其余各模式均24小时部分未报,23日也在10 mm之内,平凉降水预报系统报小雨。在影响系统不明朗,经常用的数值预报模式未报出的情况下,我们会商结果21日16时预报(48小时):22日中东部雷阵雨,23日全市小到中雨,局地大雨;22日16时预报(24小时):23日中东部中到大雨,局地暴雨;23日16时预报:24日中东部3个县大到暴雨。3天对外发布的精细化预报量级均

比模式和预报系统要大 2 个量级以上。

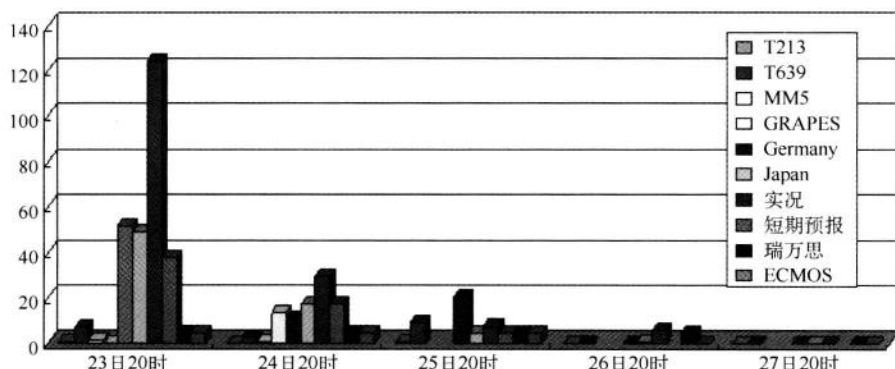


图 5 各种预报模式及本站降水预报系统检验结果

4 预报技术分析小结

通过“7·23”甘肃罕见大暴雨过程的影响系统和动力机制分析,总结出如下特征和预报着眼点:

(1)“7·23”大暴雨过程是在异常的环流,稳定的大尺度系统,700~300 hPa 深厚的低涡,500 hPa“人”字形低涡切变及 SW、SE 低空急流和偏北高空急流相互耦合的共同作用下,随着东路冷空气的侵入,甘肃东部出现了大暴雨。

(2)400 hPa 至地面上正垂直螺旋度中心的移向和强度变化与强降水落区及趋势变化有很好的对应关系,大暴雨出现在正垂直螺旋度中心移动的前方,对大暴雨的落区有一定的指示意义。

(3)强降水集中时段在平凉中东部不断有 β 中、 γ 中尺度云团在低涡云带东南侧新生、发展、合并,低涡切变云带内,由特殊条件激发出的中尺暴雨云团,是大暴雨的直接影响系统。

(4)在强降水开始、发展和消亡阶段流域上空从低层到高层为一致的正涡度区,并与垂直速度有很好的对应关系,开始期表现为正涡度柱相伴的为上升和下沉运动临界区,上升运动不明显,发展期与正涡度柱相伴的是比较宽广的上升气流区,消亡期与之相伴的气流基本转为下沉气流。与上升气流相伴的强而深厚的正涡度柱是产生本次强降水过程的重要因素之一。

5 经验及改进措施

(1)在应用数值预报时,不能只着眼于形势预报场的静态结果,要密切注意环流形势调整,对天气形势、物理量场、历史相似和预报经验等进行综合分析,对数值预报结果做出订正。

(2)在灾害天气多发阶段,要保持高度警惕,要有强烈的责任感和敏锐感。22 日 19 时平凉雨刚开始下大,局领导、台长、领班不约而同来到值班室,分析图表,发现形势调整,西北涡有稳定加强趋势,区域站显示有近 20 mm 降水的乡镇,提前拟好预警信号,和省台会商后,21 时就发布了暴雨蓝色预警信号,比第一个乡镇出现 ≥ 50 mm 提前 3 小时, ≥ 100 mm 提前 6 小

时, ≥ 200 mm 降水提前 15 小时。

(3) 由于暴雨预报的复杂性, 在环流形势异常, 影响系统调整变化时, 预报思路也应及时调整, 确保做好预报决策服务; 同时, 在模式预报不理想的情况下, 形势调整后, 模式修正能力要比主观预报强, 应及时应用。23 日 EC 对影响系统的强度、移动路径订正预报很成功, 我们就是在它的指导提醒下又准确地做出了 24 日华亭、崇信和平凉大雨或暴雨预报, 以及 25 日的阵雨及过程结束预报。

参 考 文 献

- 迟竹萍, 李昌义, 刘诗军. 2006. 一次山东春季大暴雨中螺旋度的应用[J]. 高原气象, **25**(5): 792-799.
- 樊晓春, 马鹏里, 王位泰. 2008. 青藏高原东北侧一次持续性暴雨过程分析[J]. 气象科技, **36**(1): 69-73.
- 郭大海, 许新田, 刘永等. 2008. 陕西中南部一次突发性大暴雨过程分析[J]. 气象, **34**(9): 40-46.
- 侯瑞钦, 程麟生, 冯伍虎. 2003. “98·7”特大暴雨低涡的螺旋度和动力诊断分析[J]. 高原气象, **22**(2): 202-208.
- 李栋梁. 2000. 甘肃气候[M]. 北京: 气象出版社. 288.
- 马鹏里, 王若升等. 2003. 甘肃省河东地区主秋期降水量时空分布特征[J]. 干旱地区农业研究, **21**(21): 156; 159.
- 王小曼, 丁治英, 张兴强. 2002. 梅雨暴雨与高空急流的统计与动力分析[J]. 南京气象学院学报, **25**(1): 111-117.
- 徐海明, 何金海, 周兵. 2001. “倾斜”高空急流轴在大暴雨过程中的作用[J]. 南京气象学院学报, **24**(2): 155-161.
- 岳彩军, 寿亦萱, 寿绍文等. 2006. 我国螺旋度的研究及应用[J]. 高原气象, **25**(4): 754-762.

甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨诊断分析

樊晓春, 王若升

(平凉市气象局, 甘肃平凉 744000)

摘 要:利用常规观测资料、自动气象站雨量、实时探空资料、天气图、物理量场、雷达以及暴雨天气的预报方法暴雨量场、V-30图对2010年5月25—26日发生在甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨天气过程进行了综合诊断分析。结果表明:此次局地暴雨过程由高空低槽、中低层低涡切变及西南急流、地面倒槽和冷空气共同影响产生;雷达回波上表现为局地暴雨是由混合性降水回波产生的,持续时间长,降水效率高;同时,得出基于暴雨天气的预报方法暴雨量场及V-30图在暴雨的起报、结束及落区上有很好的预报能力。

关键词:春末初夏暴雨 不稳定参数 暴雨量场 V-30图雷达

1 引言

陇东地区地处黄土高原中部,年平均降水量470~638 mm,暴雨是影响陇东夏季的重要灾害性天气之一,每年7—8月是暴雨的多发期,5月暴雨很少发生,但2010年5月25日下午到夜间甘肃陇东出现了区域性大雨,局地暴雨天气过程,范围和量级都为历史同期少见,造成了较严重灾害。以往对暴雨个例的分析和研究主要是以夏季暴雨为主(郭大海等,2008;杨晓亮,2008;毛冬艳,2008;刘利民,2009;赵庆云,2005;樊晓春,2008),对春季暴雨的分析甚少,在日常业务预报中,也经常会漏报春季暴雨。因而本文希望通过对本次过程的水汽条件、暴雨量场、V-30图结构变化等物理量场和暴雨预报方法进行分析,以提高对春季暴雨过程的认识,提炼总结一些对春季暴雨预报有用的预报方法和量化指标。

2 资料与应用诊断方法

2.1 资料

选取常规地面观测资料、自动气象站资料以及中国气象局预报业务使用的综合气象信息处理系统MICAPS的客观分析和数值预报输出产品。

2.2 应用诊断方法

暴雨量场是根据湿斜压大气动力学原理,在低层引入涡度方程,应用数值预报产品资料,建立暴雨灾害天气预报的动力释用方法,由湿斜压大气的控制方程,根据郭晓岚积云对流参数化原理(郭晓岚,2002),暴雨的产生受差值涡度平流、涡动扩散效应、温湿平流、垂直稳定性和

低层摩擦的共同影响,它们正贡献最有利于暴雨天气的产生。用 F 表示暴雨产生量场则:

$$F = \vec{V}_{850} \cdot \nabla (\rho_{850} + f) - \vec{V}_{700} \cdot \nabla (\rho_{700} + f) - (\rho_{700} + f) D_{700} + C \nabla^2 \left[\bar{\omega} \left(\frac{\partial \theta_e}{\partial p} \right)_{700} \right] + d \nabla^2 [\vec{V}_{700} \cdot \nabla \theta_{e700}] \tag{1}$$

应用中央差分和拉普拉斯差分格式,对式(1)中的差值涡度平流,涡动扩散效应,垂直稳定性和温湿平流进行差分表示,选取 850 hPa 和 700 hPa 等压面,忽略低层 850 hPa 等压面上的摩擦作用,利用 T213 和 T639 格点资料,取 850 hPa、700 hPa、500 hPa 预报场风场 u 、 v 风分量、 D (散度)、 ρ (涡度)、 θ_e 、 ω 等物理量产品,计算得到覆盖全省范围的 10×6 个网格点的暴雨量场 F 。(1)式中 C 、 d 为常数,其中 $C = \frac{g}{f}$ (g :重力, f :地转参数), $d = C \times b$, b 为参数,具体应用见文献(贾伏生,1999),。

V-30 图是欧阳首承教授创立的“结构预测法”主要工具(欧阳首承,1998),对暴雨、强对流天气预报是一种较为有效的新预报方法,原理及用法文献(樊晓春,2008)已作过介绍。

3 天气过程概述

2010 年 5 月 25 日下午到夜间甘肃陇东出现了区域性大雨,局地暴雨天气过程,有 77 个乡镇达大雨以上,14 个乡(镇)出现暴雨,最大中心在陇东平凉市崆峒区麻武乡,为 81.5 mm (见图 1),主要降水时段 25 日 19 时至 26 日 05 时,1 小时最大降水 26.3 mm(图 2)。因暴雨来得早,持续时间短,强度大,造成民宅倒塌,道路塌陷,冬小麦倒伏,城市积水等严重灾害损失。

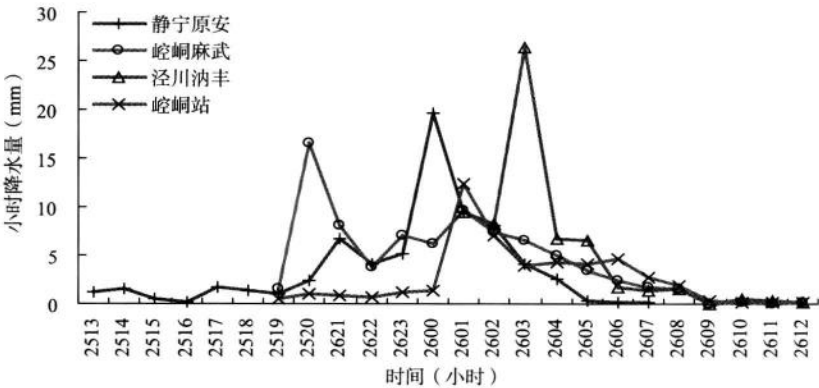


图 1 2010 年 5 月 25 日 13 时至 26 日 12 时平凉市代表站逐小时降水变化

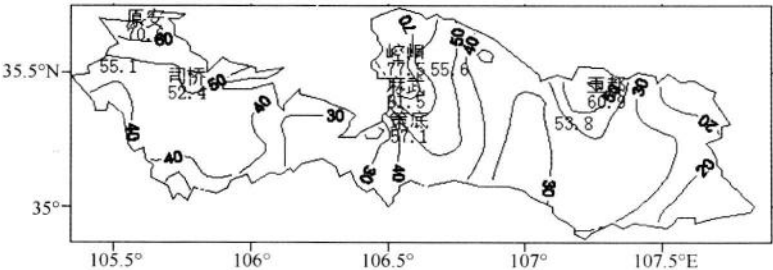


图 2 2010 年 5 月 25 日 13 时至 26 日 12 时平凉市降水量

4 主要影响系统和探空参数变化

2010年5月25日08时至26日08时500 hPa高空图(图略)上可以清楚地看到有高原低槽东移并影响暴雨所在地区,中低层(850 hPa、700 hPa)低涡位于陇东平凉西部,“人”字型切变线分别位于平凉西部的会宁—静宁—崆峒一带和东北部的崆峒—泾川到庆阳的镇原—环县一带,SE-NW向的切变线南侧有西南急流生成并迅速加强,地面西南倒槽发展,冷空气从西北路径侵入低涡北侧,涡区斜压性加强,低涡发展,中心位置向东移动,辐合风场在此得到加强。在上述天气系统的共同影响下,陇东出现了局地暴雨过程。

这次暴雨过程表征为对流不稳定性质,选取暴雨区最近的平凉崆峒探空站24日08时至26日20时探空资料进行对比分析(表1),反映出暴雨过程前一天铅直方向上500 hPa由NW风转为SW风,降水当天20时风速迅速增大了 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,700 hPa偏南风风速增大了 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,达 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,K指数突增 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$,达到 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,沙氏指数减迅速减小 $11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,减小至 $-3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,CAPE值(对流有效位能)增加到 $511\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$;25日20时平凉崆峒站 $T\text{-}\ln p$ 图层结出现2010年第一次正的不稳定能量(图3)。说明25日08时至25日20时700 hPa偏南风急流形成并加强,整层对流不稳定度增大,具备产生不稳定降水的条件,但由于对流有效位能偏小,不易产生强对流天气。

表1 暴雨过程前后平凉崆峒站探空参数变化

名称	24日08时	24日20时	25日08时	25日20时	26日08时	26日20时
500 hPa 风向/ $^{\circ}$	290	240	210	200	250	300
500 hPa 风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	8	6	15	18	11	8
700 hPa 风向/ $^{\circ}$	170	145	175	165	225	180
700 hPa 风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	10	14	15	20	2	10
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$	5	29	31	40	23	5
沙氏指数/ $^{\circ}\text{C}$	8.5	2.8	5.0	-3.2	9.2	8.0
CAPE/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	0	7.1	4.3	511	0	0

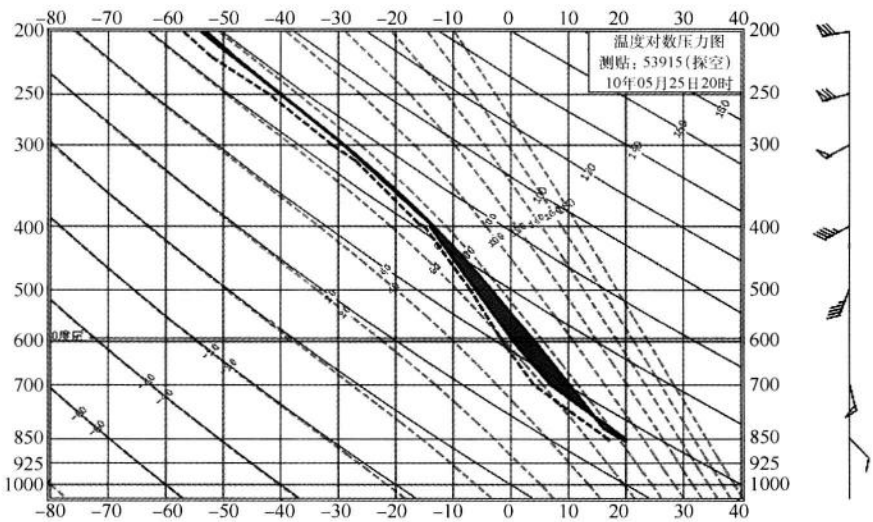


图3 2010年5月25日20时平凉崆峒站 $T\text{-}\ln p$ 图

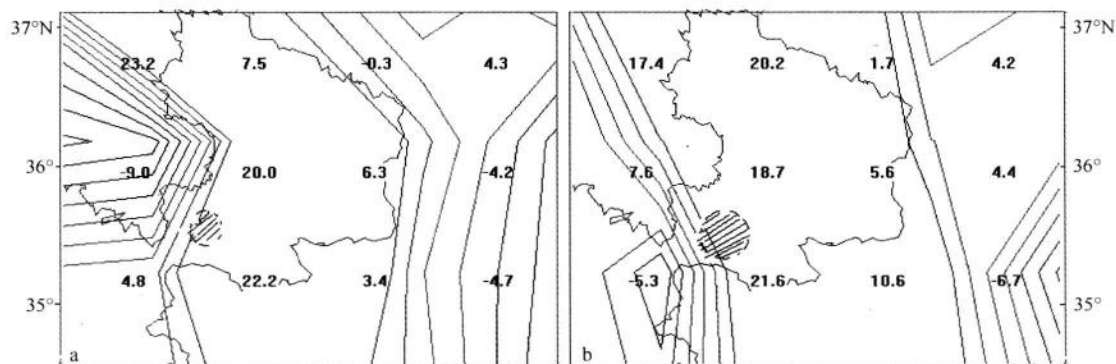
5 水汽条件特征

分析 5 月 25 日 08 时 700 hPa 水汽通量场的空间分布特征,注意到近于南北向带状的水汽通量高值区从四川盆地一直伸到河套附近,14 时在陇东地区形成 $16 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 的水汽通量高值中心,20 时大值区范围扩大,高值中心迅速增大到 $20 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ (图略),位于静宁附近。至此,陇东自西向东的大降水开始,一直持续到 26 日 02 时,08 时明显东移减弱,降水趋于结束。由于较强的水汽输送,陇东境内的大气湿度迅速升高,25 日 20 时至 26 日 08 时,陇东地区 700~500 hPa 相对湿度大于 90%。说明大气中已有较高的水汽含量。沿 107°E 的剖面图(略)中可以看出,850~700 hPa 较强的偏南风与水汽通量的高值区相对应,25 日 20 时水汽辐合和上升运动区位于陇东至河套,随着冷空气的南下,南北气流的汇合区产生较强的水汽辐合和上升运动,正位于陇东平凉市,较好地对应 20 时至 26 日 02 时降水剧烈时段。

6 暴雨量场诊断分析

由公式(1)得出暴雨量场是由差值涡度平流,涡动扩散效应,垂直稳定性和温湿平流所决定的,它能反映出大气在垂直方向上的上升运动、辐合辐散、大气稳定性、温湿层结稳定性等特征。实际诊断表明,暴雨量场的分布与雨区强度配合较好。

选取 5 月 24 日 20 时的 T639 资料为初始场,计算出每 3 小时的暴雨量场,在 5 月 25 日 21 时至 26 日 06 时的暴雨量场分布图上,发现陇东大雨、局地暴雨区恰好处在正的暴雨量场大值中心附近;5 月 25 日 21 时(图 4a)的预报图上,陇东开始出现暴雨量场正的大值区,最大值位于平凉崆峒附近 F 达 20,实况是崆峒的麻武乡已出现大雨;26 日 0 时(图 4b)暴雨量场正的大值区范围明显扩大,在陇东北部、南部各出现了 $F > 20$ 的大值区,天气实况是静宁、华亭、崆峒的 5 个乡镇已出现大雨;26 日 3 时(图 4c) $F > 20$ 的大值区范围进一步增大,整个陇东区域自西向东 F 值均 > 20 ,最大值位于平凉崆峒达 33.5,实况是陇东的西北、中部、南部及东部 17 个乡镇出现了大雨,5 个乡镇出现暴雨;26 日 08 时(图 4d)暴雨量场大值区明显减小,最大为 11,说明降水明显在减弱,实况是 26 日 08 时陇东各地已转为小雨。可见暴雨量场在陇东这次区域性大雨,局地暴雨的量级和落区预报中反映还是很清楚的。



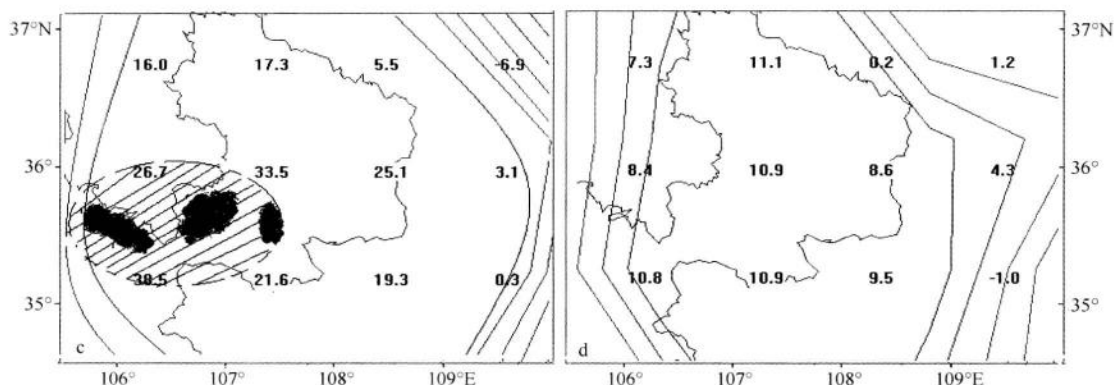


图4 2010年5月25—26日暴雨量场

(a. 5月25日21时; b. 5月26日0时; c. 5月26日3时; d. 5月26日6时

虚线为大雨区, 实线为暴雨区)

7 V-30 图诊断分析

V-30图在陇东夏季暴雨落区预报中已得到应用(樊晓春等, 2008)。从降水影响系统和水汽条件分析, 5月24日至26日, 甘肃自西向东应为一次较明显的降水过程, 为什么25日下午至夜间陇东出现大范围大雨, 局地暴雨天气? 选取25日08:00至26日08:00时兰州榆中、平凉崆峒、陕西延安3站的V-30图, 发现这次春末初夏局地暴雨, 平凉V-30暴雨特征十分明显, 25日08时, 兰州以东降水还未开始, 三站V-30图出现顺滚流, 其他特征均不明显, 对应500 hPa, 高空槽前高原东部到陇东为一致的SW气流, 700 hPa为一致的偏南气流, 但冷空气还在甘肃河西中部, 陇东降水还未开始; 20时(图5a、b、c), 榆中、平凉降水开始, 顺滚流仍存在, 平凉 $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$ 几乎等于0, 且700~600 hPa、400~200 hPa垂直于T轴, 表明此时整层大气水汽充沛, 大气层结出现不稳定, 榆中 θ^* 、 θ_{sed} 线虽靠近, 但层结基本稳定, 延安低层至高层湿度条件还较差; 此时冷空气已移入陇东, 和暖湿气流在陇东交汇, 700 hPa“人”字形切变线形成, 平

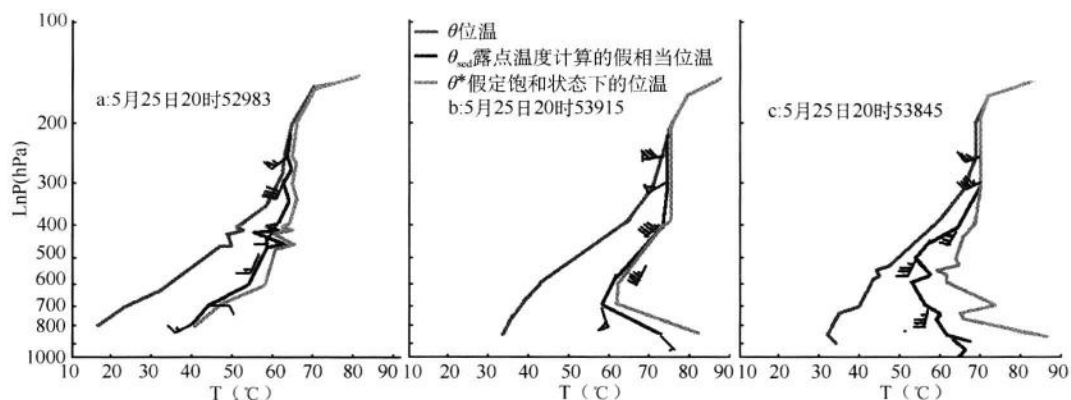


图5 2010年5月25日20时V-30图特征

a: 甘肃榆中站 b: 甘肃平凉站 c: 陕西延安站

凉西部的会宁—静宁—崆峒一带和东北部的崆峒—泾川到庆阳的镇原—环县一带,SE-NW的切变南侧西南急流生成并迅速加强,说明只有陇东平凉最有利产生较明显降水,26日08时,平凉 θ^* 和 θ_{sed} 线开始分离,差值增大,且在低层明显向右偏,说明水汽条件、热力条件、动力条件均不利降水持续,延安V-30图特征向有利于降水发展, θ^* 、 θ_{sed} 线靠近,但层结较为稳定,不会有强降水。以上分析说明V-30图较清楚地预报出这次局地暴雨发生的时段和落区。

8 降水回波特征

雷达对降水区的发生、发展和演变有强的探测能力(刘洪恩,2001;夏文梅等,2002;俞小鼎等,2006),本次暴雨过程中,利用陇东庆阳多普勒天气雷达站的探测资料为局地暴雨落区提供了临近监测警报信息。

选取庆阳雷达回波资料,5月25日19时左右,在距雷达站西部120 km,宽120 km、长近400 km处有25~30 dBz强度的回波带,其中在平凉周围有35~40 dBz的块状对流回波嵌于絮状回波中,回波所在高度约4.5 km,与0℃层高度(4.2 km)相对应(图略),在雷达回波移动方向(NW-SE)上沿径向(265°方位)作基本反射率因子垂直剖面,呈现出在平凉东南至西北方有多个30 dBz以上的回波柱排列成串,且由远而近回波柱的高度增高,回波强度增强。上述特征表明此次降水回波具有典型的混合性降水回波(有对流性降水回波特征的块状及强度,有较强的层状云降水回波特征的絮状)特点(赵庆云,2005),降水过程中有明显的不稳定性,具备平凉强降水的经验指标(稳定性降水中伴有雷雨)。

9 小结

(1)“5·26”局地暴雨是高空槽、低层低涡切变、西南急流、地面倒槽共同作用的结果。平凉探空资料表明强降水发生阶段中低层西南急流处于强盛时期,大气层结不稳定,有利于对流性降水发生,但由于对流有效位能小,限制了深对流的发展,这点可从雷达探测到的降水回波性质(积层混合性降水回波)予以印证。

(2)“5·26”局地暴雨过程的水汽条件比较充沛,有来自对流层低层的,还有来自对流层中层的,从对流层中层向暴雨区输送的大量水汽,与低层水汽叠加,形成较深厚的水汽层,输送到暴雨区。

(3)暴雨量场与雨区强度配合较好,对暴雨落区预报有很好的指示意义,平凉市大雨,局地暴雨天气主要产生 $F>20$ 的区域,中心 $F>30$,对暴雨量场的应用还需不断的总结。

(4)V-30图的应用诊断表明,这次局地暴雨平凉V-30图结构特征十分明显,从暴雨开始有顺滚流, θ^* 和 θ_{sed} 线靠近到重合并与T轴垂直,可作为预报暴雨的重要判据; θ^* 和 θ_{sed} 线由靠近重合到差值增大,可作为暴雨的趋于结束的预报指标。

(5)多普勒雷达产品对临近暴雨落区预报有强的警报能力,降水的持续时间及强度与雷达强度回波的降水属性有关,混合性降水回波产生的降水持续时间长,降水效率高。

参 考 文 献

- 樊晓春,马鹏里,王位泰.2008.青藏高原东北侧一次持续性暴雨过程分析[J].气象科技.36(1):69-73.
- 郭大海,许新田,刘永等.2008.陕西中南部一次突发性大暴雨过程分析[J].气象.34(9):40-46.
- 郭晓岚.1981.大气动力学.南京:江苏科学技术出版社.
- 贾伏生.1999.暴雨预报的一种动力释用方法[J].山西气象.46(01):12-14.
- 刘利民,德庆措姆,孟丽霞.2009.甘肃河东一次区域性暴雨天气过程分析[J].干旱气象.27(3):272-275.
- 刘洪恩.2001.单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用[J].气象.27(12):17-22.
- 毛冬艳,乔林,陈涛等.2008.2004年7月10日北京局地暴雨数值模拟分析[J].气象.34(2):25-32.
- 欧阳首承.1998.天气演化与结构预测[M].北京:气象出版社.
- 夏文梅,张亚萍,汤达章等.2002.暴雨普勒雷达资料分析[J].南京气象学院学报.25(6):787-794.
- 杨晓亮,李江波,杨敏.2008.河北2007年7月18日局地暴雨成因分析[J].气象.34(9):48-55.
- 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.2006.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社.221-222.
- 赵庆云,狄潇泓,张铁军.2005.“8·19”甘肃区域暴雨的特征分析及数值模拟[J].干旱气象.23(4):12-16.

2011年5月28日白银市局地大暴雨天气过程分析

景怀玺¹, 王雅茹², 石光普¹, 徐科展¹, 李晓霞¹

(1 白银市气象局 甘肃白银 730900; 2 民航西北空管局甘肃分局 兰州 730087)

摘 要:本文对2011年5月28日下午白银市辖区的靖远、平川等地出现的局地大暴雨天气过程进行诊断分析。结果表明:造成此次局地暴雨天气过程的中尺度天气系统为高原切变线,致使暖湿空气由底层向高层输送,具备了发生强对流天气不稳定层结的条件;T213和T639数值预报产品对此次暴雨具有很好的预报能力;SWAN系统为此次强对流天气的监测预报预警提供了强有力的技术支撑。

1 天气实况

受北方冷空气和西南暖湿气流的影响,5月28日下午至夜间,我市大部地方出现了小阵雨天气。其中,受局地强对流天气影响,平川区种田乡16—19时3小时降水量56.4 mm,16—17时1小时降水量36.6 mm;靖远县高湾乡16—19时3小时降水量46.9 mm,17—18时1小时降水量41.5 mm的大暴雨天气。由于降水历时短、强度大,引发了山洪,造成农田被淹、道路被冲毁、水利设施被毁和人员伤亡等严重灾害。据当地民政部门统计,这次局地大暴雨天气过程造成直接经济损失达2 000余万元。

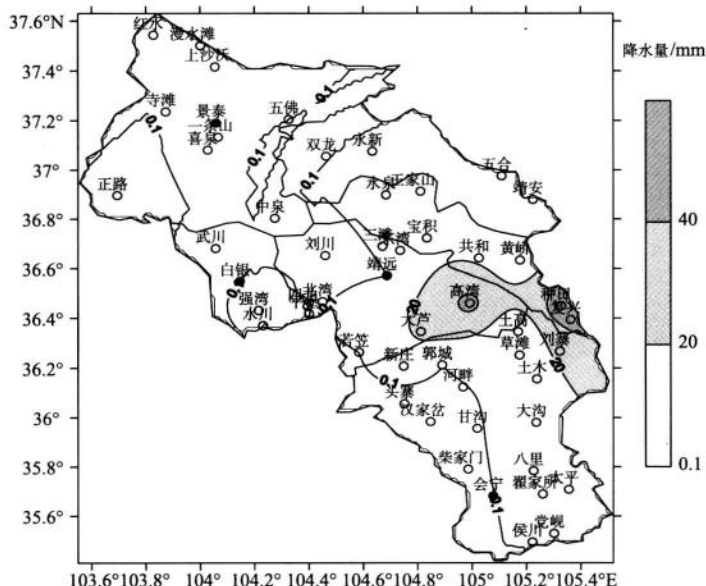


图1 2011年05月28日16—19时降水分布图

2 天气形势

研究表明:暴雨和强对流是在一定的大尺度天气形势下,由嵌入天气尺度系统中的中小尺度天气系统直接造成(中国气象局科教司,1998)。从2011年5月27日20时500 hPa高空实况图上可以看到(图2),中高纬度为“两槽一脊”型,西西伯利亚冷涡槽区深厚,影响我国的新疆北部地区;高原上气流不稳定扰动有短波槽生成;西太平洋副热带高压边缘584线西伸我国云贵高原,有明显的西南气流将孟加拉湾水汽向甘肃省中部地区输送。从2011年5月27日20时700 hPa高空实况图上可以看到(图3),新疆北部有明显的冷空气堆积,沿河西走廊西北气流发展强盛;高原上有弱的低涡形成。

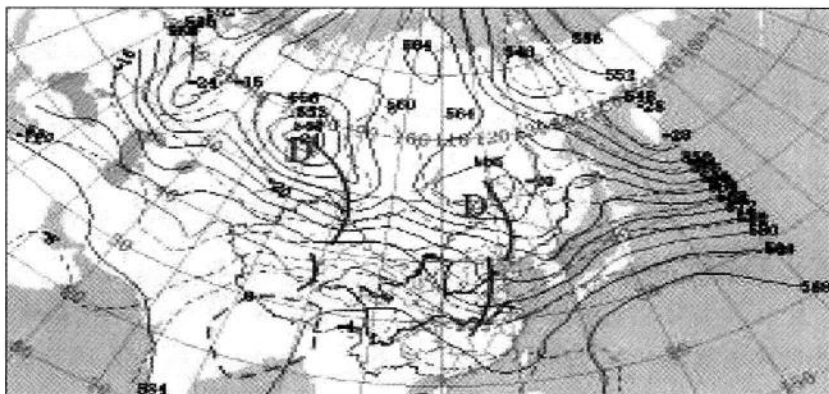


图2 2011年5月27日20时500 hPa高空实况图

(实线:等高线;虚线:等温线)

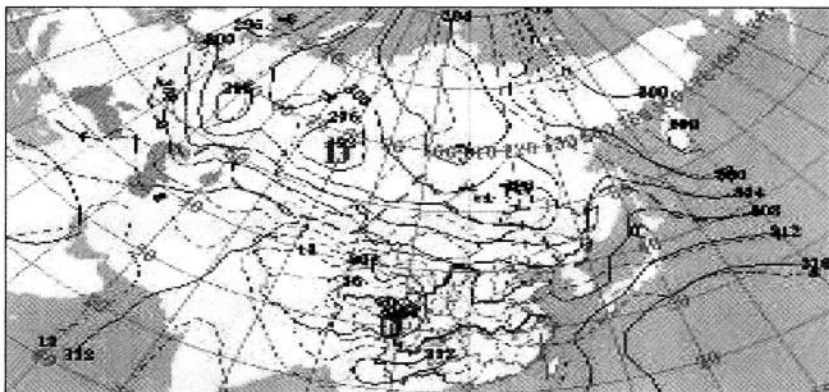


图3 2011年5月27日20时700 hPa高空实况图

(实线:等高线;虚线:等温线)

从2011年5月28日08时500 hPa高空图上可以看到(图4),环流形势开始调整,西西伯利亚冷涡槽线由西北—东南—西南转为南北走向,槽区底部分裂浅槽沿西北气流经甘肃省河西走廊快速东移南下至河西西部,高原气流仍呈多波动状态。从2011年5月28日08时700 hPa高空图上可以看到(图5),在河西西部有明显的温度槽,等高线与等温线相交呈垂直状态,冷平流最强,武威到白银之间为一气旋式风向切变线,显著湿区位于四川盆地至甘肃省陇东南。

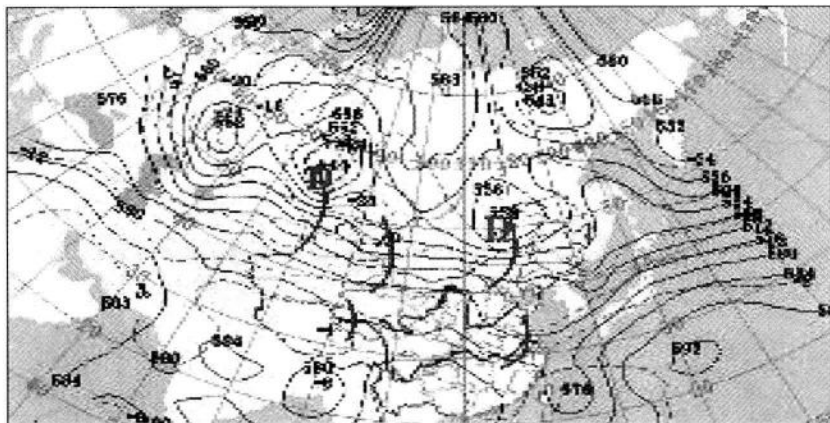


图4 2011年5月28日08时500 hPa高空实况图
(实线:等高线;虚线:等温线)

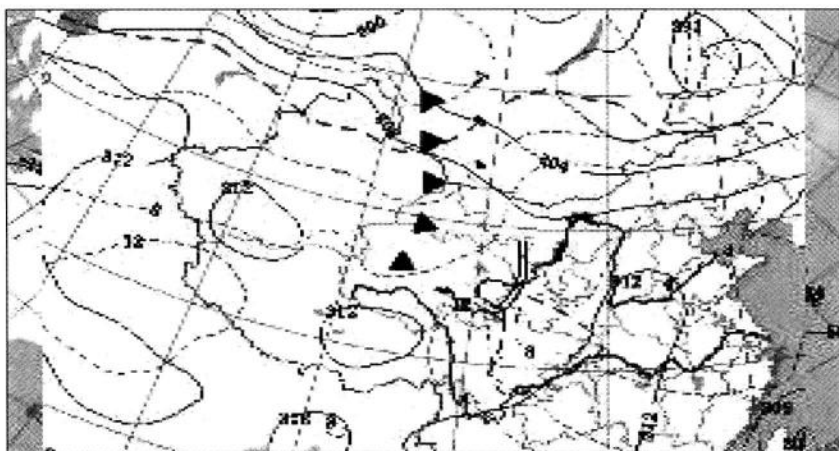


图5 2011年5月28日08时700 hPa高空实况图
(实线:等高线;虚线:等温线)

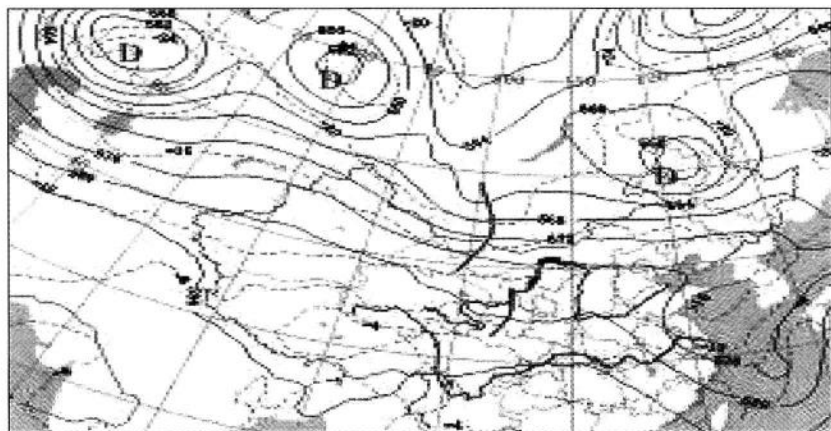


图6 2011年5月28日20时500 hPa高空实况图
(实线:等高线;虚线:等温线)

从 2011 年 5 月 28 日 20 时 500 hPa 高空实况图上可以看到(图 6),沿河西走廊分裂南下浅槽与高原东移短波槽在本地上空具有叠加趋势;从 2011 年 5 月 28 日 20 时 700 hPa 高空实况图上可以看到(图 7),冷暖气团在本地上空交汇,显著湿区北抬影响本地。

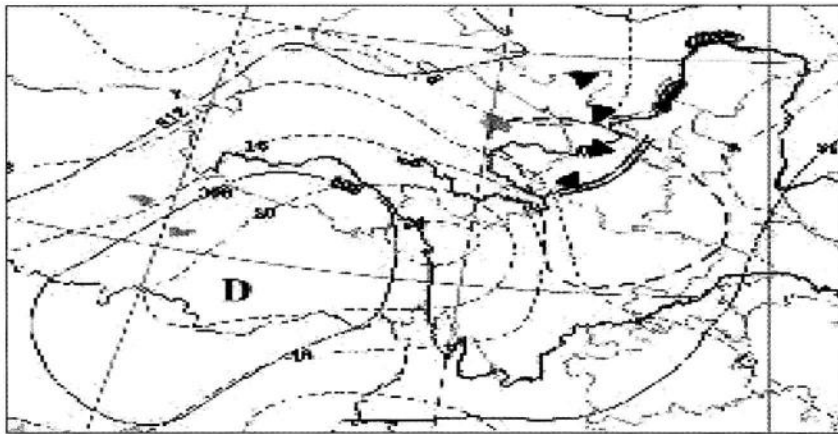


图 7 2011 年 5 月 28 日 20 时 700 hPa 高空实况图

(实线:等高线;虚线:等温线)

由此可知,影响这次天气过程的中尺度系统是高原上东移的切变线与北支分裂浅槽沿河西走廊南下共同作用的结果,属于比较典型的西北气流引导下冷平流型天气形势(白肇烨等, 1988),才造成局地对流性强降水的产生。

3 物理量诊断分析

3.1 动力条件分析

3.1.1 垂直速度

利用 2011 年 5 月 27 日 T639 的数值预报,分别提取实际预报 28 日 14 时和 17 时不同高度的垂直速度资料,绘制垂直空间剖面图($100^{\circ}-106^{\circ}\text{E}$, $63.2^{\circ}-36.4^{\circ}\text{N}$),分析局地大暴雨发生地靖远县高湾乡(104.59°E , 36.27°N)、平川区种田乡(105.20°E , 36.26°N)等地上空的空间变化情况。

从图 8 可以看出,负速度区的高度达 500 hPa,最大上升速度中心位于(104°E , 36°N)的

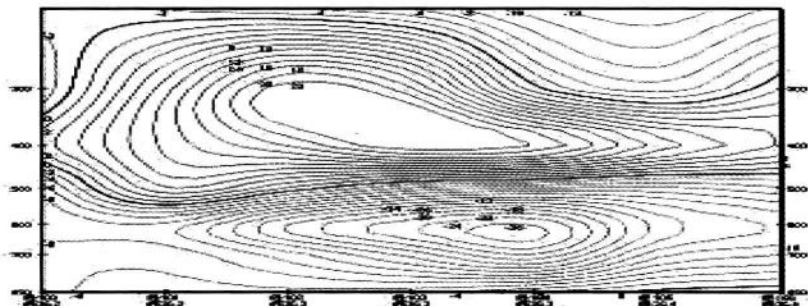


图 8 2011 年 5 月 28 日 14 时垂直速度预报场空间剖面

600 hPa 附近, 达 $-2.6 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 表明本地上空的上升运动尚未达到最强; 从图 9 可以看出, 负速度区的高度达 400 hPa, 尽管最大上升速度中心位于 $(104^{\circ} \sim 106^{\circ}\text{E}, 36^{\circ}\text{N})$ 的 600 hPa 附近, 但最大负速度中心范围显著增大, 强度增强, 达 $-3.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 刚好与本地局地大暴雨发生时段比较吻合, 表明本地上空具有强烈的上升运动(赵庆云等, 2005)。

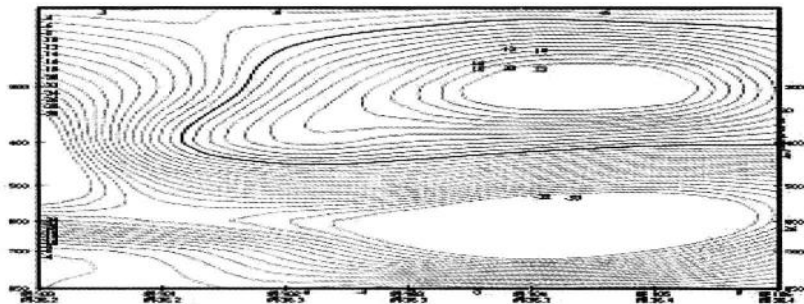


图 9 2011 年 5 月 28 日 17 时垂直速度预报场空间剖面

2.2.1 涡度和散度

利用 2011 年 5 月 27 日 T213 数值预报, 分别提取实际预报 28 日 14 时和 20 时涡度和散度资料, 分析随时间演变情况以及高低空的配置。从 700 hPa 来看(图略), 正涡度区由甘肃省的偏西南向东北方向移动, 正涡度中心强度由 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 增大为 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 说明气旋式环流在我市上空得到加强(朱乾根等, 2000)。

从 500 hPa 和 700 hPa 20 时散度来看(图 10), 辐散和辐合区均由甘肃中部到河套以北呈带状分布, 500 hPa 辐散中心强度由 $108 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 700 hPa 辐合中心强度 $68 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 白银市强降水区位于此辐散辐散带中, 说明高层辐散, 低层辐合, 形成了强烈的抽吸作用, 有利于对流的形成和发展。

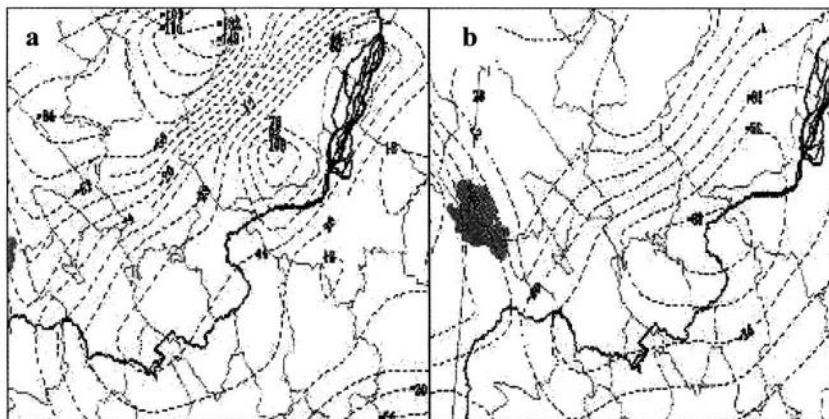


图 10 2011 年 5 月 27 日 20 时 T213 数值预报散度场(a:500 hPa,b:700 hPa)

3.2 水汽条件分析

3.2.1 比湿

根据统计大多数暴雨发生时 700 hPa 层上比湿 $\geq 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上(中国气象局科教司, 1998)。利用 2011 年 5 月 27 日 T213 数值预报, 分别提取实际预报 28 日 14 时和 20 时 700 hPa 比湿场资料, 分析比湿的时间演变特点。从图 11 可以看到, 靖远、平川等暴雨区 14—20 时比湿呈增大的趋势, 14 时在 $6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右, 20 时在 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 说明在强降水过程中, 本地暴雨发生区上空水汽含量充沛, 空气比较潮湿。

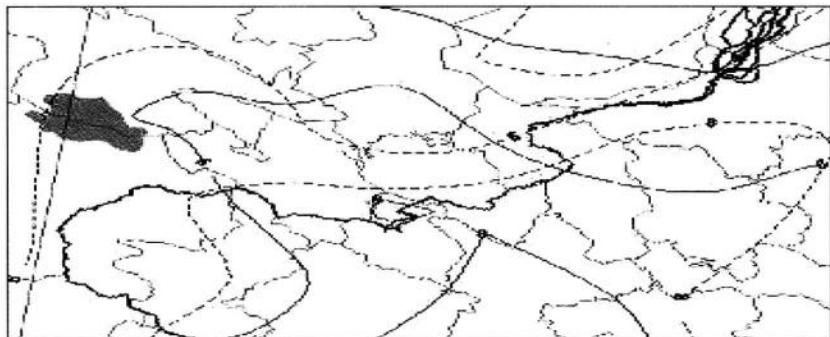


图 11 2011 年 5 月 27 日 20 时 T213 数值预报 700 hPa 比湿场
(实线: 预报 14 时; 虚线: 预报 20 时)

3.2.2 水汽通量散度

利用 2011 年 5 月 27 日 T639 数值预报, 分别提取实际预报 28 日 17 时 500 hPa 和 700 hPa 水汽通量散度场资料, 分析水汽的垂直输送情况。本地局地暴雨发生区 500 hPa 有正的大值区, 中心值达 $15 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 700 hPa 有负的大值区, 中心值达 $-25 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明水汽由底层向高层的输送通道完全建立(图 13)。

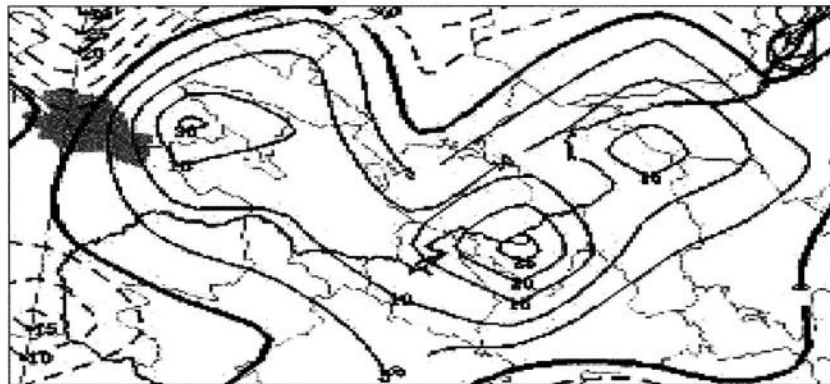


图 12 2011 年 5 月 28 日 17 时 500 hPa 水汽通量散度场

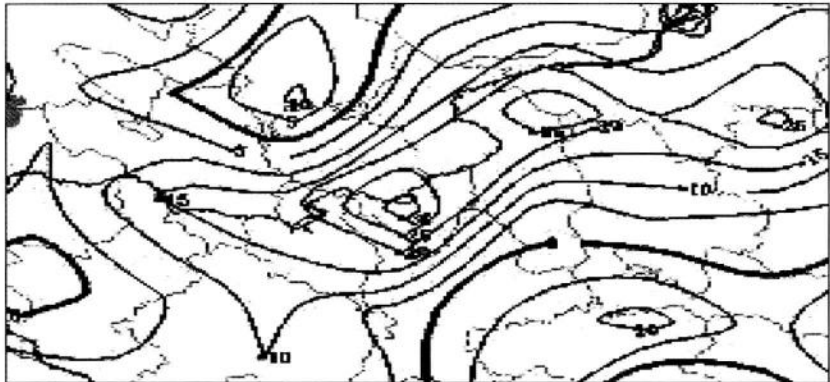


图 13 2011 年 5 月 28 日 17 时 700 hPa 水汽通量散度场

3.3 热力条件分析

3.3.1 假相当位温

假相当位温(θ_e)表征了大气温、压、湿的综合特征,其时空分布常用来反映大气中潜在能量分布,高值区为高温高湿能量区(朱乾根等,2000)。本文提取 T639 27 日预报场分析大气的暖湿状况。从图 14 可以看出,暴雨发生地整个气柱的 θ_e 都在 333 K 以上,形成了暖而湿的对流不稳定层结。

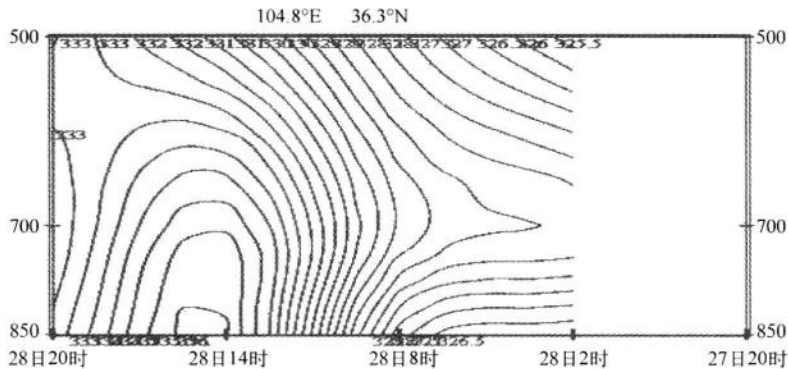


图 14 2011 年 5 月 28 日假相当位温时间剖面

3.3.2 700—500 hPa 温度差

研究表明:暴雨发生时一般 700 hPa 减 500 hPa 温度差均在 18 ℃ 以上(朱乾根等,2000)。利用 2011 年 5 月 28 日 20 时 700 hPa 与 500 hPa 的温度资料进行计算温度差(图 15),并提取民勤、银川、西宁、兰州四站温度差再求其平均达 22 ℃,从而反映出本地暴雨区热力不稳定的特征。

3.3.3 K 指数

一般 K 指数越大表示大气层结越不稳定。当 30℃ < K < 35 ℃ 时,就有可能发生分散雷雨。从 2011 年 5 月 28 日 20 时 T213 海平面 K 指数预报场可以看出(图 16),白银地区 K 指数 32~36 ℃ 之间,同样具备了发生强对流天气不稳定层结的条件。

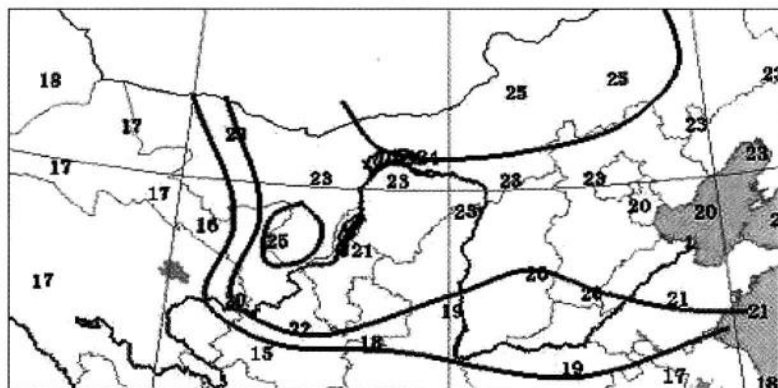


图 15 2011 年 5 月 28 日 20 时 700 hPa 与 500 hPa 的温度差

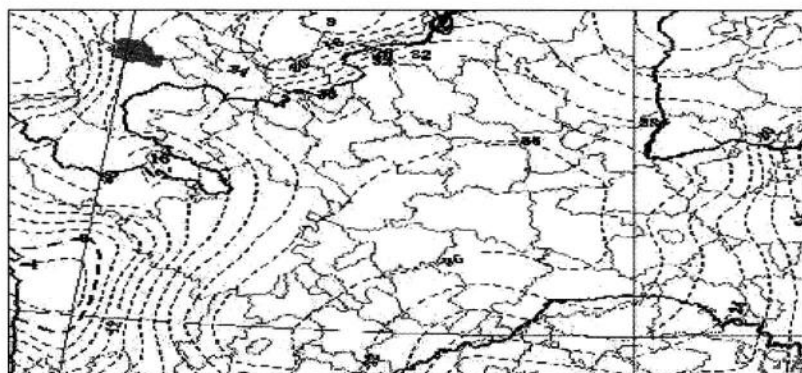


图 16 2011 年 5 月 28 日 20 时 T213 海平面 K 指数预报场

4 多普勒雷达回波结构特征

4.1 回波强度

研究表明:对流性降水回波的主要特点是回波强度大,中心的回波强度 >40 dBz,回波顶高 >10 km,生命史 $1\sim3$ h(中国气象局科教司,1998;黄东兴等,2000)。从图 17 可以看出,白银地区局地暴雨发生在混合性强回波区当中。其中,靖远的高湾、平川的种田分别位于两块强回波中心区,移动方向呈西北—东南向,主要降水时段的回波强度均在 $45\sim50$ dBz 以上,具备了强对流天气回波的基本特征。

4.2 垂直剖面

从图 18 可以看出,白银地区混合性降水云系雷达回波高度可伸展到 12 km。其中,靖远的高湾、平川的种田分别位于两快回波顶高大致在 $7\sim8$ km 强回波中心区当中,强回波区呈不规则形状。



图 17 2011 年 5 月 28 日 16 时 42 分兰州多普勒雷达组合反射率因子

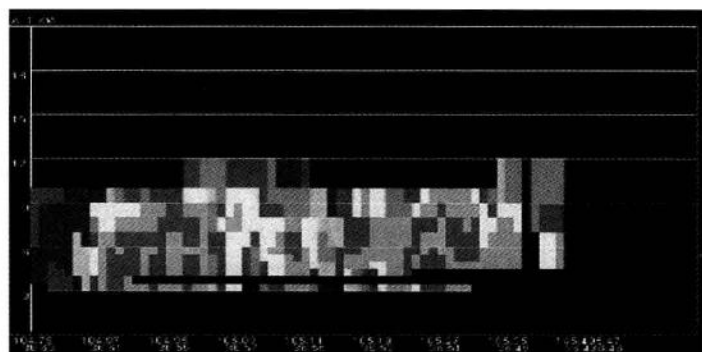


图 18 2011 年 5 月 28 日 16 时 42 分兰州多普勒雷达组合反射率因子空间剖面

4.3 降水估测

从图 19 可以看出,SWAN 系统对这次白银地区对流云系的降水反演结果与实况基本吻合,靖远高湾 16—17 时 1 小时最大估测降水量为 25 mm,表明 SWAN 系统对短时临近预报具有很好的指示作用。

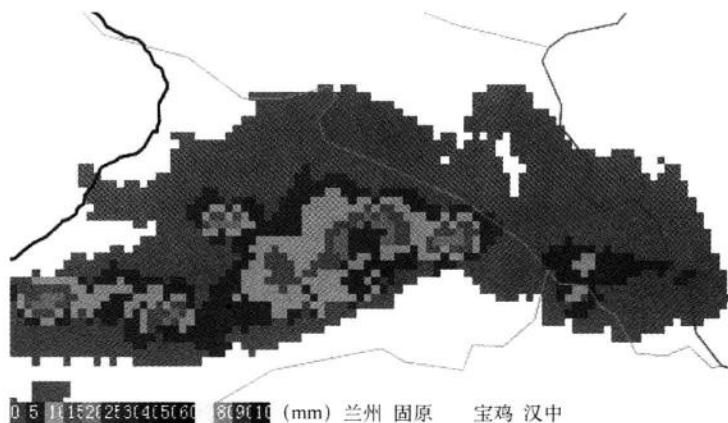


图 19 2011 年 5 月 28 日 16—17 时兰州多普勒雷达降水估测

5 小结

(1)500 hPa 高空冷涡和西太平洋副热带高压是造成此次局地大暴雨过程的两个大天气尺度系统,其有利配置是这类暴雨预报的着眼点。尤其是 700 hPa 高原切变线等中尺度天气系统的生成触发了湿对流不稳定层结的建立。

(2)T213 和 T639 数值预报产品对此次暴雨具有很好的预报能力,特别是散度、涡度等动力条件,假相当位温、 K 指数等热力条件,比湿、水汽通量散度等水汽条件在不同时效、不同高度上的分布情况,基本与暴雨发生时空相吻合,物理量值超过强对流天气发生的临界范围。

(3)本地暴雨发生区上空高层辐散,低层辐合,形成了强烈的抽吸作用,致使暖湿水汽由底层向高层的输送,具备了发生强对流天气不稳定层结的条件。

(4)SWAN 系统为此次强对流天气的监测预报预警提供了强有力的技术支撑。从回波强度、移动方向、回波高度、降水估测均有较好的特征量指示。

参考文献

- 白肇烨,徐国昌等.1988.中国西北天气.北京:气象出版社,284-288.
- 黄东兴,黄美金等.2000.一次连续性大暴雨成因及雷达回波特征分析:气象,26(7):50-55.
- 赵庆云,狄潇泓,张铁军等.2005."8·19"甘肃区域暴雨的特征分布及数值模拟:干旱气象,23(4):12-16.
- 中国气象局科教司.1998.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,150-151.
- 中国气象局科教司.1998.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,190-191.
- 中国气象局科教司.1998.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,243-244.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等.2000.天气学原理和方法.北京:气象出版社 524-529.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等.2000.天气学原理和方法.北京:气象出版社 463-464.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等.2000.天气学原理和方法.北京:气象出版社 621-622.

7月3日陇南局地特大暴雨过程分析

刘莉丽

(陇南市气象局,甘肃陇南 746000)

摘 要:2011年7月3日陇南武都、康县、文县和宕昌四县部分地方出现暴雨,其中康县店子出现了特大暴雨,在7月3日06—08时两个小时内降雨量达到266.7 mm;武都枫相乡和洛塘镇也出现大暴雨,24小时降雨量超过100 mm,此次暴雨过程给陇南人民带来了灾害。本文通过环流形势、物理量特征和武都层结曲线分析、数值预报模式和SWAN系统、短时临近预报平台监测系统对此次过程做了监测分析,并在实际工作中做了预报预警,为当地政府和部门提供了尽量长的抢险时间。

关键词:特大暴雨 临近预警 成因分析

1 引言

暴雨是甘肃省河东地区重要的灾害性天气之一,给人民群众的生命财产带来巨大的伤害,例如2010年8·12的舟曲泥石流,就是由于暴雨引发的。但是小区域的暴雨预报是一个非常困难的问题,从大尺度的形势预报场上不容易发现,对形成小区域暴雨的中小尺度天气系统和热力、动力特征在各种格点场资料中容易被平滑掉(谷秀杰等,2010;梁丽,2010;齐杰等,2010;张京英等,2010;陈振英等,2010)。

通过传统的天气学原理预报和中小尺度分析及SWAN和短时临近监测预警平台对7·3康县店子乡特大暴雨过程进行了分析。

2011年7月3日0时至20时陇南市普降中到大雨,武都、康县、文县、宕昌四县12个乡镇出现暴雨,其中康县店子出现特大暴雨,雨量为316.4 mm,06—08时1小时降水量均超过100 mm,暴雨引发康县、武都部分地方出现山洪、泥石流等地质灾害。此次暴雨过程降水强度特别大,致使农作物受损,房屋进水,公路多处塌方及漫水,由暴雨引发的泥石流造成白龙江部分河道被堵,此次暴洪灾害给灾区农业生产、人民群众生命财产和生产生活造成损失。

2 天气实况及灾情

此次陇南局地特大暴雨的主要降水时段在7月3日06—08时。但是降水从7月2日20时就开始了,此时雨区正位于甘肃中部,逐渐向南压,而且陇南武都为阴天;到了23时,雨区到达甘南,3日2时,雨区到达陇南宕昌,到03时30分左右宕昌南河乡1小时降水量为13.8 mm,两小时大于29 mm,通过省、市、县会商后制作了宕昌黄色暴雨预警信号;值班人员继续监测天气系统变化、云图移动、区域站降水量大小,文县范坝乡、徽县降雨逐渐增大,再经

过会商将暴雨预警信号变更发布到全市;07时康县店子1小时降水量102.3 mm,核实雨情后,发布了康县店子乡及附近红色暴雨预警信号;到08时发现店子乡又1小时降雨量为164.4 mm,2小时降雨量总计266.7 mm,为特大暴雨,06—08时,为康县有气象记录以来最强降水;05时至08时也是陇南市强降水的主要时段;08时至11时武都枫相(102.8 mm)和洛塘(119.7 mm)出现大暴雨,变更为红色暴雨预警信号。14时时低压系统向南移动,陇南市位于该系统的边缘,雨区逐渐减弱,陇南市的强降水时段已过,部分地方有小到中雨。

此次暴雨造成康县店子乡两处村庄受洪水威胁,部分房屋进水,紧急撤离7户32名群众,公路多处塌方及漫水,两间民房、街道、部分农田、果树被冲毁,发生3处小型滑坡泥石流。暴雨造成武都区洛塘镇境内武罐高速十五标段改变河道弃渣处发生河水翻堤险情,部分村民房屋被淹,1户房屋倒塌,疏散转移危险区群众50多户、200多人。造成文县中庙乡等4乡镇215户765人不同程度受灾,农作物受灾面积139.5亩,成灾114.5亩,绝收25亩;14户24间房屋进水,乡村公路受损18条820 m,塌方2000 m³,水毁河堤护坎117 m,人饮工程管道受损400 m;石鸡坝乡哈南村对面因强降雨引发泥石流,拥堵白水江三分之二的河道;直接经济损失60余万元。

3 天气成因分析

3.1 高空形势

从7月20时的500 hPa高空图可以看出,中高纬呈两槽一脊型,副高西伸北抬,580线北边达到河西走廊,陇南市位于副高边缘外围580线下方西北气流之中,有冷空气从西西伯利亚冷低压底部随着冷槽进入新疆,再沿着西北气流进入甘肃,在高原上有一暖中心;在700 hPa图上,高原上有一深厚暖低压,在陇南市北部有一辐合切变线,西南暖湿气流从孟加拉湾沿四川盆地进入陇南,冷空气从巴尔喀什湖经新疆沿西北气流进入甘肃南部,影响降水系统为700 hPa上的切变线。白肇烨、徐国昌等(1986)指出切变线是造成甘肃暴雨的一个重要天气系统。

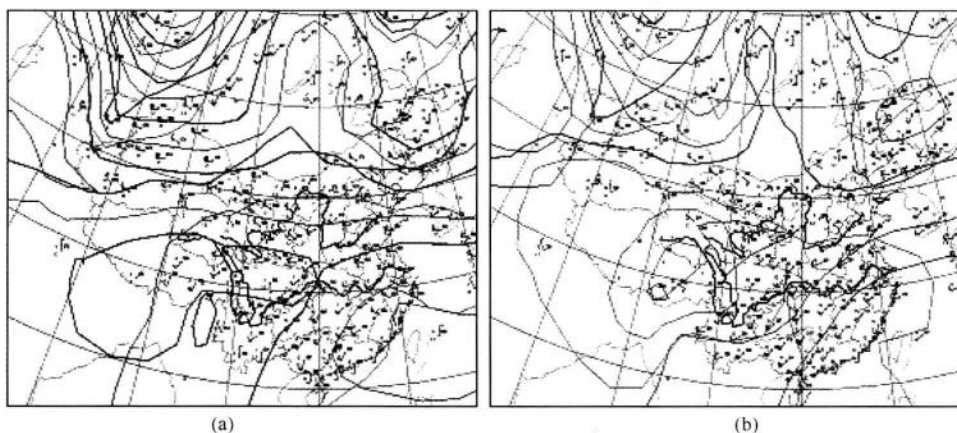


图1 7月2日20时500 hPa(a)和700 hPa(b)高空图

3.2 水汽条件和地面条件

由图2可以看到7月2日20时700 hPa水汽通量图上显示值在6~8之间,在700 hPa可以很清楚地看到,在贵州和重庆一带有范围广、中心值大的水汽区域中心,陇南位于这个区域中心的外围,这个区域在副高584线外围西南气流向东北方向的流线上,这是陇南水汽输送源。

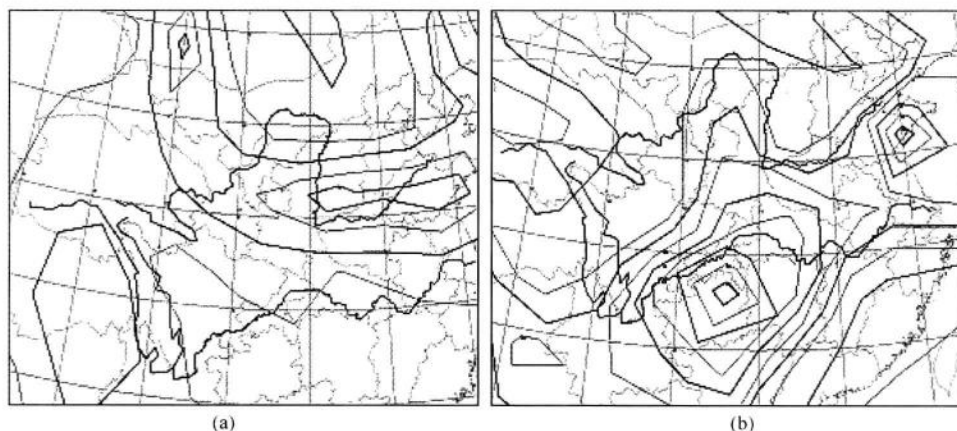
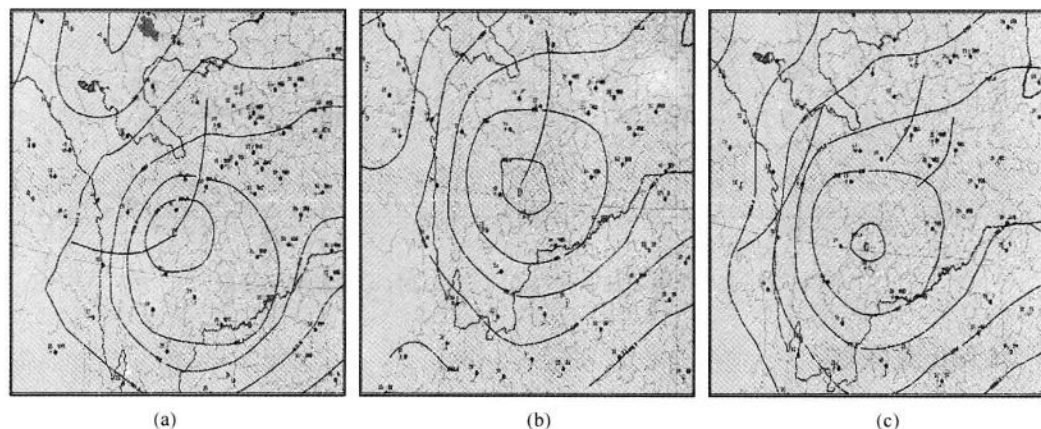


图2 7月2日20时500 hPa(a)和700 hPa(b)的水汽通量

从图3(a)7月2日20时的地面天气图上,可以看到在甘南—红原—甘孜一带有一地面切变线;23时此切变线持续在甘南一带,位置基本不变;到了7月3日02时,从图上可以清楚地看见,切变线分裂向东南移动,前端切变线已移出陇南,中间切变线到达宕昌,在四川西北部形成了一地面切变线,这三条切变线对此次降水过程影响颇大;05时的地面图上,这三条切变线持续影响陇南的此次降水过程;从08时的地面图上可以看到,造成此次特大暴雨过程的两条切变线已消失,康县店子乡的最大降水时段基本结束。地面切变线的生成、移动是造成此次暴雨过程的一个重要因素。



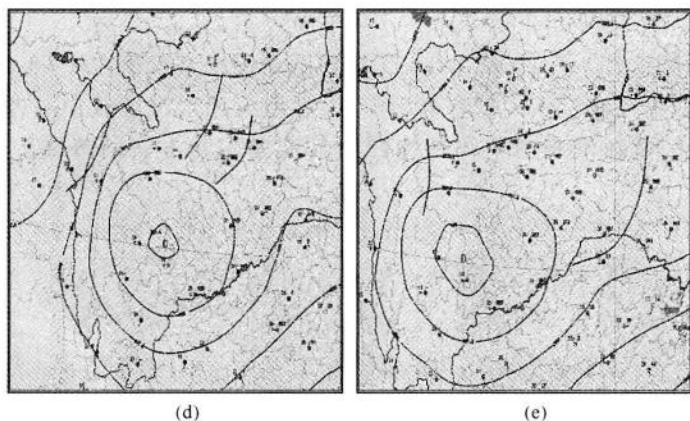


图3 7月2日20时(a)、23时(b)和7月3日02时(c)、05时(d)、08时(e)的地面天气图

3.3 数值预报模式预报分析

从欧洲中心的2日20时形势场上看,中高纬度呈两槽一脊的形势,副高比较稳定,位置偏北,588线以到达 30°N ,584线接近 35°N 。西南气流旺盛,水汽输送从孟加拉湾经过云南、四川进入陇南市,陇南市位于副高边缘外,西伯利亚低压下部有冷空气随着西北气流进入甘肃,在高原上还有高原槽存在,受高原槽和副高的共同影响,形成了降水的有利条件。到了3日20时,中高纬度仍呈两槽一脊的形势,环流形势比较稳定,西风槽缓慢向东移动;与2日相比,副高北抬西伸,584线伸至甘肃中部,陇南受副高和高原波动的影响,未来仍有降水,但强度减弱。

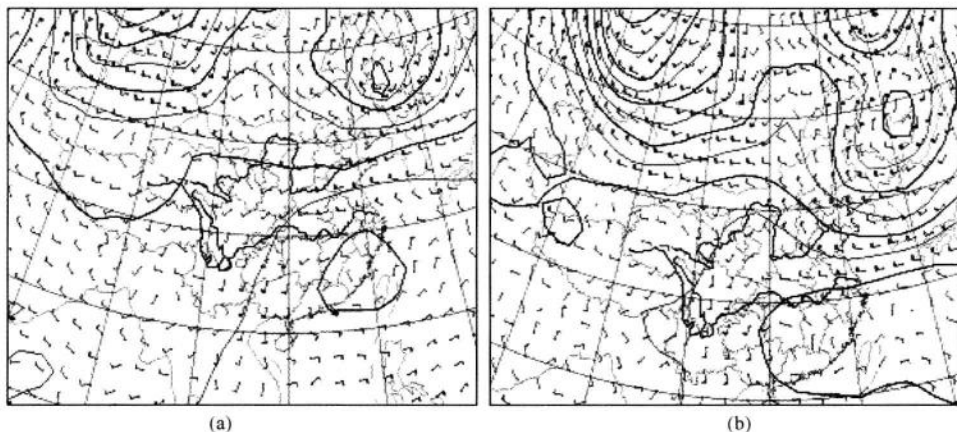


图4 2日20时的3日20时(a)、4日20时(b)的形势场预报

2.4 $T-\ln p$ 图分析

从图5上看,武都本站的层结非常不稳定,7月2日20时, $T-\ln p$ 图显示,730 hPa以上为正不稳定能量,正不稳定能量远远大于负不稳定能量,层结不稳定, K 值达43,湿对流有效位

能CAPE值为 $535.7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大上升速度W-CAPE为32.7,表明整个大气层结非常不稳定,上干下湿;3日08时,K值达40,CAPE值为986.4,W-CAPE为44.4,K值有所下降,但CAPE值和W-CAPE值均有所上升。从图上看,900 hPa以上为正不稳定能量,整个层结非常不稳定,与暴雨过程相对应,天气发展趋势为强对流天气模式。此次暴雨过程,从3日凌晨开始,在06—09时这一时段,降水最为强盛,其中06—08时,康县店子乡两小时降水量达266.6 mm。

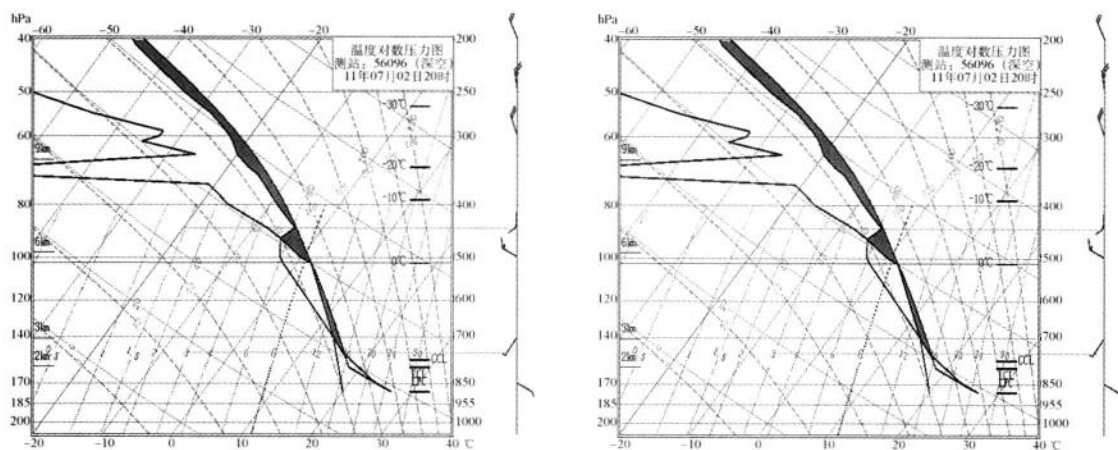
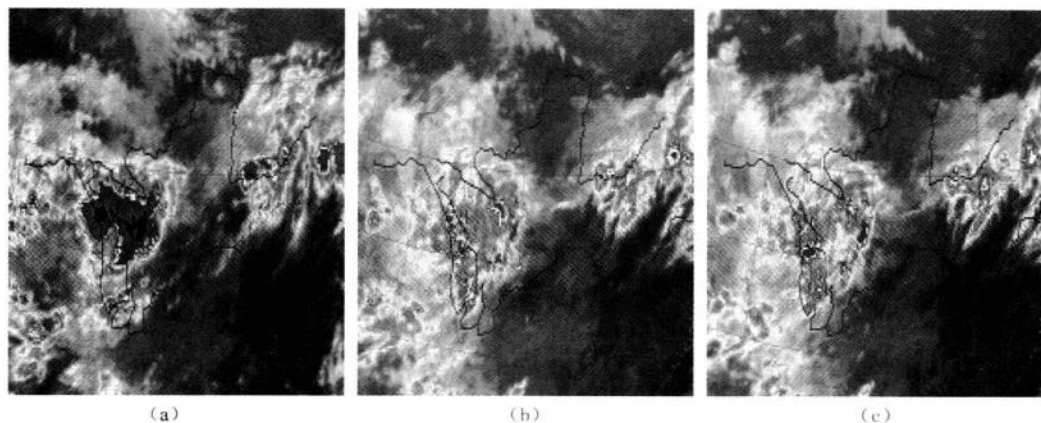


图5 7月2日20时(a)、3日08时(b) T - $\ln p$ 图

3.5 卫星云图分析

从图6上看,7月2日23时在四川西北部有强对流云团,逐渐东移影响陇南,7月3日5时,该云团的东北部已进入陇南市,影响陇南市降水。从06时至08时,在东南部康县一带,该云团边缘的小云块受下垫面的影响,发展旺盛,强度进一步加强,与康县店子的暴雨相对应;到14时,康县一带的云团逐渐消散,此次强降水过程结束。



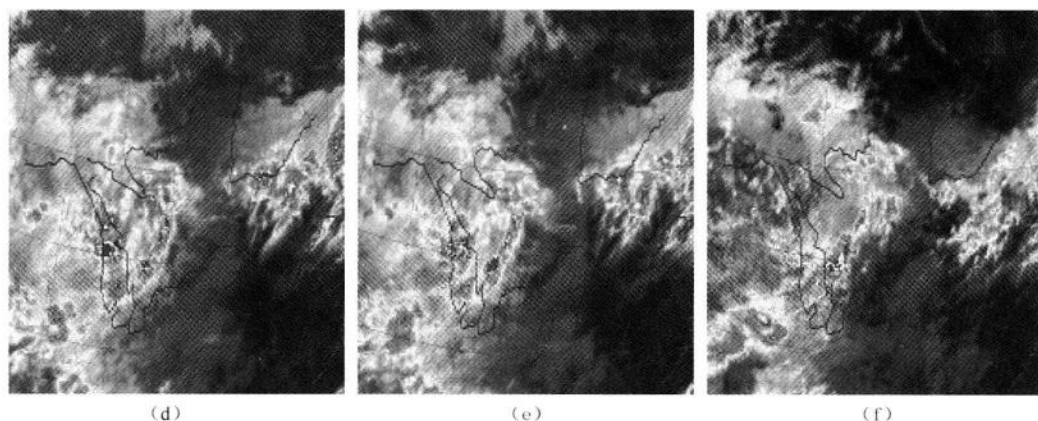


图6 7月2日23时(a)、7月3日5时(b)、6时(c)、7时(d)、8时(e)和13时(f)的红外云图

4 中尺度分析

从图7(a)综合图上看,陇南中低层水汽输送明显,且位于湿舌内;在500 hPa上,受西南气流控制,在陇东还有切变;在700 hPa上,陇东北部有气旋性环流,切变线在陇东南一线,其前部偏南水汽输送明显;从地面图来看,全省大部分地面湿度较大,四川盆地有低压系统,甘南、临夏有辐合,青海东部及甘肃省河东有小雨或阵雨;从不稳定条件来看,甘肃偏南地区CAPE值较大,武都的K指数大于40。以上综合分析可以得出:陇南局地有短时强降水。此次的中尺度分析对7月3日的暴雨预报有很好的指导作用。

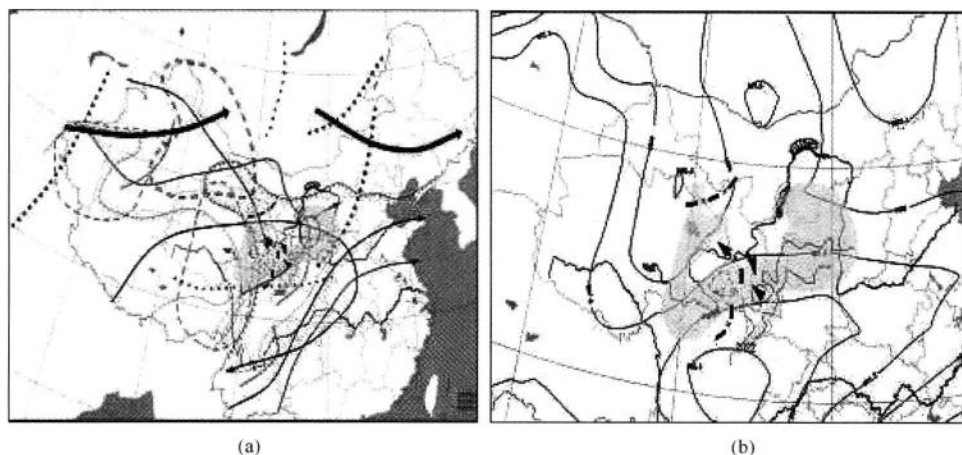


图7 7月2日20时综合图(a)、地面图中尺度分析产品(b)

(引用甘肃省中心台7月2日下发的中尺度分析图)

5 SWAN 系统的应用分析

从图 8 的三维拼图上可以明显看出从 6:30 开始陇南东部雷达回波比较强,部分地方雷达回波达到了 30 dBz,强回波中心与强降水中心相对应,有较好的指示作用;由于陇南市并无雷达站,同时又位于天水、汉中、广元雷达站的扫描边缘,因此所获取的雷达资料存在一定的误差,导致回波强度和地点也有一定的偏差。但总的来说,SWAN 系统加强了对强对流天气的监测和预警,对陇南市短期临近预报有较好的指示作用。

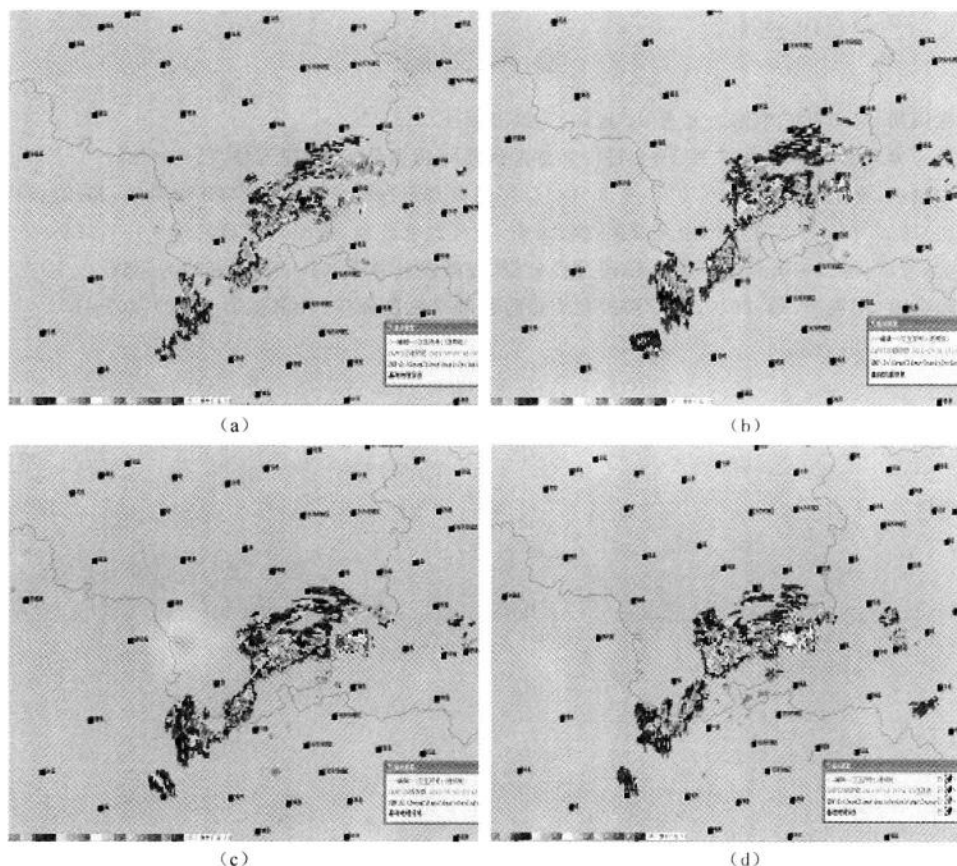


图 8 7月3日 6:30(a)、7:00(b)、7:18(c)和 7:54(d)的 SWAN 中 CAPPI 三维拼图

6 预报着眼点

(1)从传统天气预报分析,影响此次暴雨过程的重要天气系统是 700 hPa 上的切变线,及西伯利亚冷空气和孟加拉湾暖湿气流在陇南的交汇。

(2)SWAN 系统监测显示:陇东一带部分地方的雷达回波强度达到了 30 dBz,对于短临预报有较好的指示作用。

(3)云图分析显示局地对流云在康县逐渐发展旺盛,与强降水中心相对应。

(4)数值预报模式预报7月2—3日是小到中雨,降水区域报错,量级偏小,落区不确定。

(5)特大暴雨发生是从区域气象站降雨实况监测到的,在此之前宕昌南河乡出现暴雨,发布预警信号,据天气系统移动判断:宕昌下游的武都、康县、文县、徽县、成县等地也会出现暴雨。据此,我们发布了范围更广的下游区域暴雨预警信号,而后来暴雨范围的进一步扩大,康县店子乡更是出现了特大暴雨。

总结暴雨预报的着眼点,从宕昌部分乡镇出现暴雨开始,其他下游各县也相继出现暴雨,根据雨量大于35 mm的区域站点来确定暴雨落区,并发布暴雨预警信号。

参 考 文 献

- 白肇烨,徐国昌,等.1986.中国西北天气.北京:气象出版社.218-220.
- 陈振英,肖秀琴.2010.2009年7月1—2日中北部地区暴雨过程分析.福建气象.(1):18-21.
- 谷秀杰,牛淑贞,介玉娥,等.2010.2007年8月2日郑州大暴雨过程分析.气象与环境科学,33(2):53-28.
- 梁利.2010.2009年5月7日广州市大暴雨过程分析.现代农业气象,资源与环境科学.(19):274-276.
- 齐杰,孙莹,王浩,等.2010.辽宁局部大暴雨过程分析.安徽农业科学.(12):6317-6320,6352.
- 张京英,陈金敏,刘英杰,等.2010.大暴雨过程中短时强降水机制分析,气象科学.30(3):407-413.

白银市南部春末夏初一次区域性暴雨天气过程分析

景怀玺¹, 石光普¹, 王雅茹², 徐科展¹, 李晓霞¹

(1. 白银市气象局, 甘肃白银 730900; 2. 民航西北空管局甘肃分局, 兰州 730087)

摘要:本文对2010年5月25日夜間白银市偏南地方出现的区域性暴雨天气过程进行了诊断分析。结果表明:此次暴雨天气的环流形势表现为“东高西低”型,其主要的影晌系统是高原上高层东移发展的低压槽和低层发展起来的低涡。这种高低层的配置,为暴雨的发生提供了有利的环流条件;偏西南高低空急流在本次暴雨天气过程中起到了重要的耦合作用,产生了不稳定层结并形成触发条件;暴雨过程中700 hPa层上其比湿大于 $8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,落区刚好位于700 hPa层水汽通量大值区输送中心的下风方,从而建立了较好的水汽通道;垂直速度、涡度、散度等动力条件满足了产生暴雨时的临界值,均可作为白银地区预报暴雨天气的指标之一。另外,暴雨落区与假相当位温高值区及K指数等热力条件对应亦比较好,不仅具备了发生强对流天气的条件,而且具备了产生较大范围强降水的条件。

关键词:区域性暴雨 低涡 低空急流 物理量场

1 引言

白银地区位于甘肃省中部地带,属腾格里沙漠边缘和祁连山余脉到黄土高原的过渡地带,地势呈西北—东南走向,海拔高度在1275~3317 m,总面积2.12万 km^2 ,北部地方地势平坦,南部地方山大沟深,地形复杂,自然条件差,由暴雨引发的气象灾害给工农业生产和人民生命财产造成严重损失。受其地形影响,白银市的暴雨主要发生在南部山区,而南部山区会宁是白银市暴雨的多发区(白银市综合农业区划编写组,1990),常造成的损失也最为严重。之前许多气象工作者对西北及甘肃暴雨成因及预报方法作了诸多研究(西北暴雨编写组,1992;林纾等,2008;王毅荣等,2007;蒲金涌等,2006;赵庆云等,2005;王陇等,2005),取得了许多有意义的成果。实际研究表明,即使在有利于强降水的大尺度环流背景下,由于地域分布上的不同,其高低层环流场的配置及物理量场亦存在明显的差异,因此研究白银地区的暴雨天气同样有着十分重要的意义。就白银地区而言,与暴雨的相关研究并不多见,所以本文通过对发生在白银市南部春末夏初一次区域性暴雨天气过程的环流形势、影响系统及物理量场进行综合分析,探讨其形成机制,进一步增强对白银地区暴雨天气的认识,以提高预报预警服务能力。

2 资料和天气实况

2.1 资料来源

本文利用白银地区自动气象站、区域气象站降水实测资料和MICAPS系统中提供的高空

天气实况以及 EC、T213 和 T639 数值预报产品资料,以对 2010 年 5 月 25 日夜間出现在白银市南部的一次区域性暴雨天气过程进行诊断分析。

2.2 天气实况

受北方冷空气和西南暖湿气流共同影响,2010 年 5 月 25 日夜間,白银市出现了大范围的降水天气过程。由图 1 可以看出,景泰、白银出现了小到中雨天气,靖远、平川等地出现了中到大雨天气,南部会宁大面积出现了暴雨天气,12 小时 50 mm 以上降水的区域站点达 15 个,强降水时段主要集中在午夜。由于降水时空分布不均,南部降水量级明显大于北部,形成了暴雨并引发山洪等地质灾害。据当地民政部门统计,此次天气过程造成的经济损失达 2 000 万元以上。

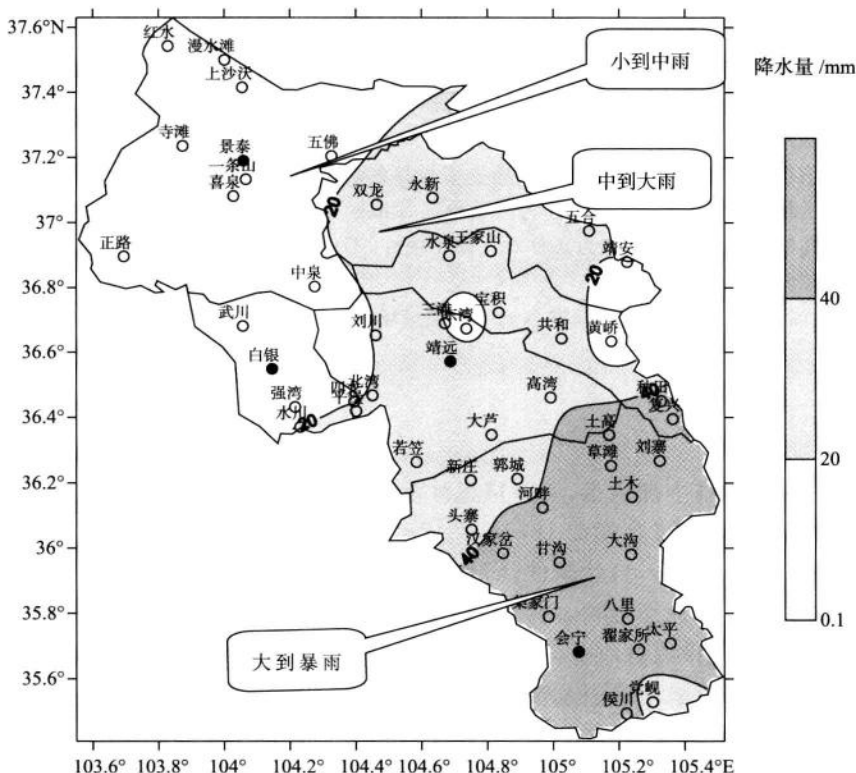


图 1 2010 年 05 月 25 日 20 时—2010 年 05 月 26 日 08 时降水分布

3 环流形势及影响系统

3.1 天气形势

分析 500 hPa 高空图,其主要的环流形势为“东高西低”型,为暴雨的形成提供了有利的大尺度环流背景条件。从由图 2 可以看出,5 月 24 日 08 时副热带高压边缘 584 线已经北抬至 30°N 西伸至 100°E,影响我国西南地区。此时,偏西南气流发展强盛,对暖湿空气的输送十分有利,为暴雨的发生提供了水汽来源。由图 3 可以看出,5 月 25 日 20 时西太平洋副热带高压

有所东退,引导高原低压冷槽携带冷空气亦快速东移南下,影响到白银地区。从5月26日08时图可以看出(图略),新疆高压脊完全建立,白银地区受脊前西北气流控制影响,天气转好。

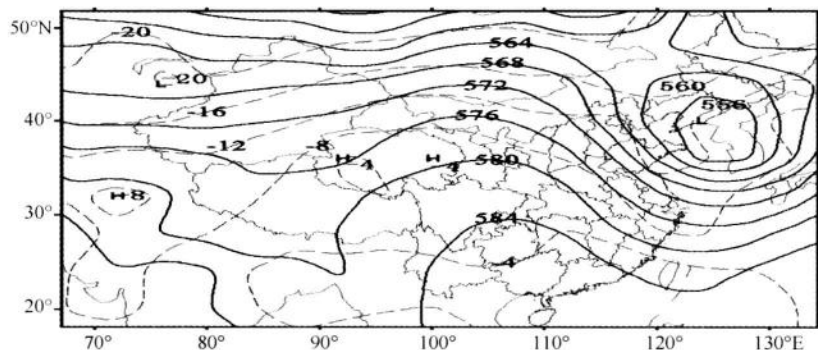


图2 2010年5月24日08时500 hPa高空实况

(实线:等高线;虚线:等温线)

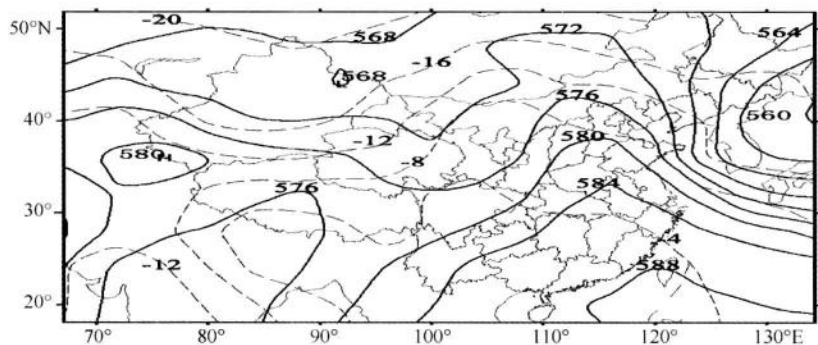


图3 2010年5月25日20时500 hPa高空实况

(实线:等高线;虚线:等温线)

分析700 hPa高空图(图4)可以看出,5月24日20时整个高原地区处于大范围的低压带中,并形成了闭合环流,其中心位于我国西南地区的四川盆地,这也就是天气学中常常提到的西南低涡(朱乾根等,2000)。由图5可以看出,5月25日20时西南暖低涡在强盛的偏南气流引导下,在东移过程中明显北抬。此时,白银地区同样受热低涡的控制影响,从而形成了低层强烈辐合,产生上升运动,将低层暖湿水汽向高层输送的抬升机制;5月26日08时(图略)可以看出,低涡减弱并东移过境,降水减弱并停止。

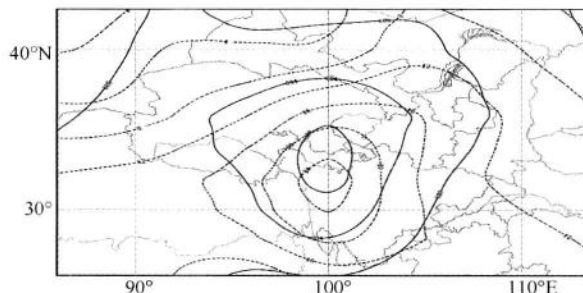


图4 2010年5月24日20时700 hPa高空实况

(实线:等高线,虚线:等温线)

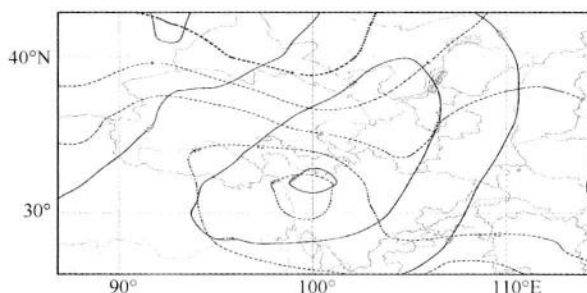


图5 2010年5月25日20时700 hPa高空实况
(实线:等高线;虚线:等温线)

一般情况下,西南低涡的移动大致有三种情况:一是向东南移动,二是沿长江东移入海,三是向东北方向移动。图6可以更清晰地反映出西南低涡的动态变化。在整个过程中,不仅高原以东以南地区一直维持大范围的低压区,而且西南低涡的低压中心亦沿西南—东北方向移动,并使得低涡在东移过程中影响本地时得到加强,从而产生强降水,形成暴雨天气。由此可见,此次暴雨天气过程西南低涡的移动为明显的东北方向走势。

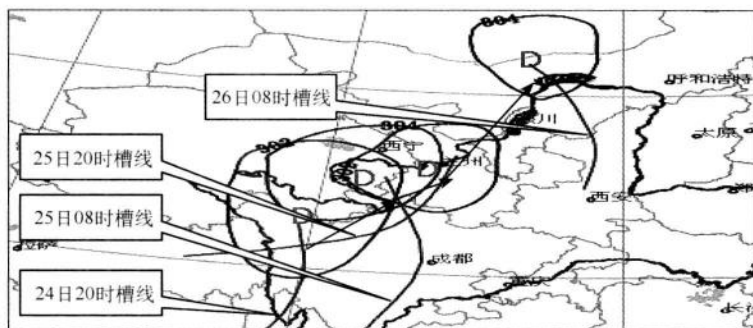


图6 700 hPa西南低涡移动路径动态图
(D表示中心位置,等高线表示强度,箭头表示移动方向)

3.2 高低空急流作用

暴雨是一种深对流系统,往往与高低空急流的相互作用有着密切的联系,一般采用在等压面图上分析等风速线的方法来表示急流的位置和强度,最大风速达到并超过标准值的地方称为急流中心(朱乾根等,2000;白肇烨等,1988)。

从5月25日20时700 hPa流场和全风速场配置可以看出(图7):在流场中,西南暖湿气流发展不仅强盛,而且冷暖气流的交汇位于西宁至武威一线,表明来自孟加拉湾的暖湿气流无疑到达白银市的上空,从而建立了很好的水汽通道;在全风速场中,强风速中心位于西北地区东部,最大风速达16 m/s,白银地区的南部会宁处于8~12 m/s强风速带中,表明这支来自孟加拉湾的西南暖湿气流是属于次天气尺度的低空急流。

从700 hPa 25日20时相对湿度场很好地反映了这次低空急流的水汽水平输送情况。整个湿区包括高原及西南地区,并北抬至河西走廊中上游地区,其湿区中心到达甘肃中部,白银地区相对湿度达100%完全饱和,水汽非常充足丰沛。

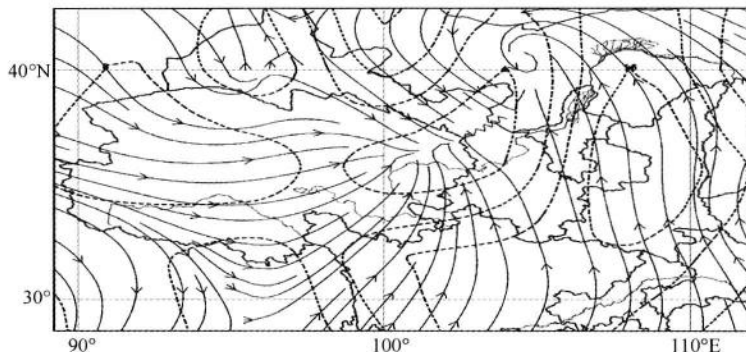


图7 2010年5月25日20时700 hPa流场和全风速场配置情况
(实线:流线;虚线:等风速线)

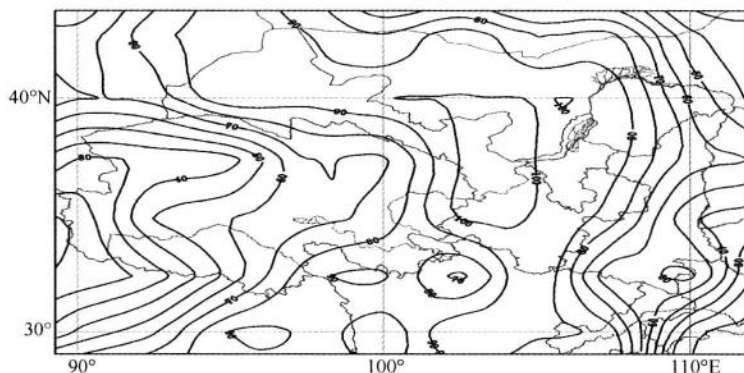


图8 2010年5月25日20时700 hPa相对湿度场

从500 hPa和700 hPa 25日20时水汽通量散度场也很好反映了这次低空急流的水汽垂直输送情况。在500 hPa水汽通量散度场图上,甘肃中部地区有一正的大值区,中心值达 $25 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,在700 hPa水汽通量散度场图上,甘肃中部地区有一负的大值区,中心值达 $-75 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,由此可见,低层辐合,高层辐散,产生了明显的垂直抬升机制,有利于低空对流不稳定层结的建立和维持。

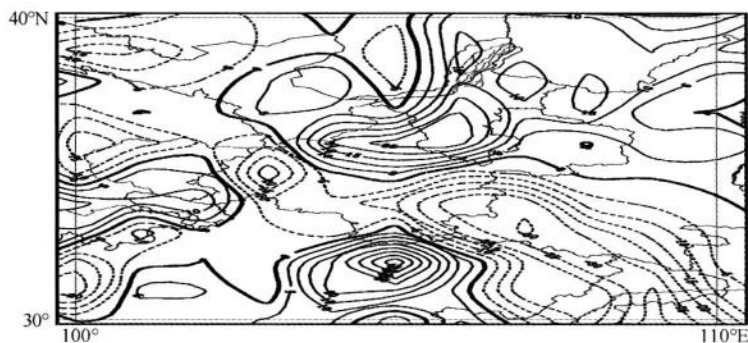


图9 2010年5月25日20时500 hPa水汽通量散度场
(实线:正值区;虚线:负值区)

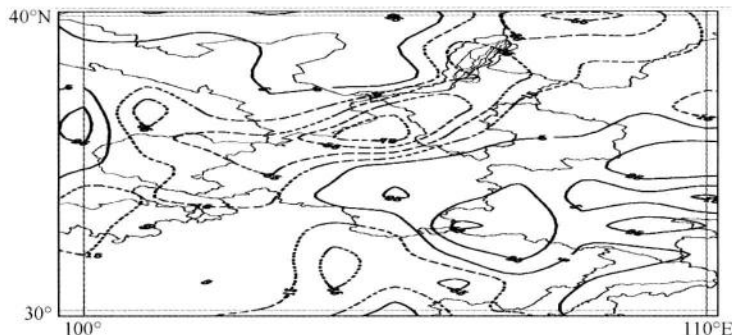


图 10 2010 年 5 月 25 日 20 时 700 hPa 水汽通量散度场
(实线:正值区;虚线:负值区)

从 5 月 25 日 08 时 250 hPa 流场和全风速场配置分析(图略):高空有两支急流。其中,自新疆北部经高原中部转向至河西中部地区有一支呈西北—东南—西南走向的高空急流,存在两个急流中心位于新疆南部和河西中部,其最大风速达 36 m/s;另一支自四川盆地向甘肃中部呈西南—东北走向的高空急流,急流中心位于甘肃中南部,其最大风速达 32 m/s。由临近本地的榆中站点的时间剖面图上可以看出(图 11),5 月 25 日 08 时在榆中上空 200 hPa 附近有一偏西南强风速中心达 40 m/s,600 hPa 附近有一偏西南强风速中心达 12 m/s,进一步证明了高低空急流的存在。再利用 5 月 25 日 20 时 500 hPa 涡度平流场可以看出(图略),在高空急流入口区右侧有正的涡度平流,因而引发高层辐散,低层辐合,有助于低层低压系统的维持和发展。

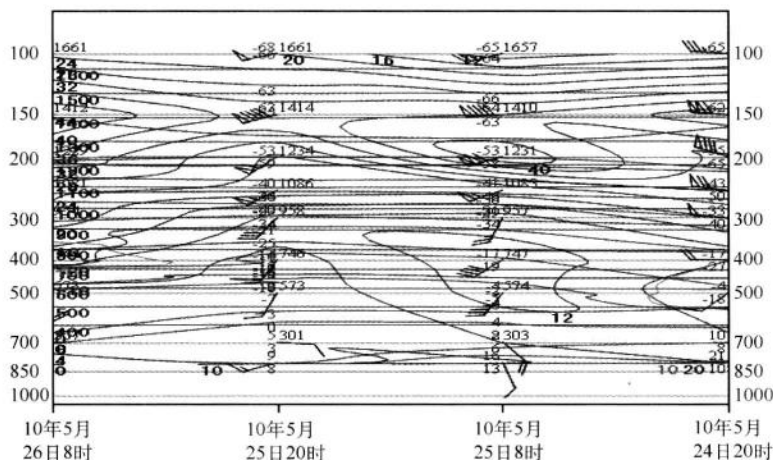


图 11 2010 年 5 月 24—26 日榆中探空站时间剖面图

综上所述,对于甘肃中部的白银地区来说 700 hPa 基本接近地面,这支稳定的低空急流可以把孟加拉湾的暖湿空气源源不断地输送到四川盆地,进而到达甘肃中部,为当地提供充沛的水汽,因而在暴雨区形成强烈的水汽通量辐合。大量的水汽辐合为暴雨的产生提供了水汽条件;高空急流引导高层气流辐散,具有抽吸作用,产生不稳定层结并形成触发条件。同时,偏西南高低空急流出现了在垂直方向上的耦合现象,是有利于产生暴雨的动力场配置。所以高低空急流在本次暴雨天气过程中起到了重要作用。

4 物理量诊断分析

4.1 水汽条件

4.1.1 比湿变化

暴雨是在大气比湿达到相当大的数值以上时才形成(中国气象局科教司,1998),据统计大多数大雨和暴雨发生时在 700 hPa 层上比湿 $\geq 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本文利用 $T\text{-}\ln p$ 图上分别得到了本地天气影响关键区西宁、银川、榆中、合作、平凉 5 个高空站点 700 hPa 层上的比湿,并求取其平均以反映本地上空水汽的含量。由表 1 可以看出,此次暴雨过程前(5 月 24 日 20 时)、过程时(5 月 25 日 20 时)、过程结束时(5 月 26 日 08 时),5 个站的比湿平均分别为 $11.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $8.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $6.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其比湿变化的顺序为过程前最大、过程时次之、过程结束时明显变小的特点,但过程前和过程中均大于 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,足以满足形成暴雨发生时通常条件下的数值。由此可以表明,在 700 hPa 层上比湿 $\geq 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,白银地区也极易引发暴雨天气,可作为预报指标之一。

表 1 2010 年 5 月 24—26 日 700 hPa 层白银市临近高空站点比湿的变化(单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

站名 \ 日期	5 月 24 日 20 时	5 月 25 日 20 时	5 月 26 日 08 时
西宁	12.4	7.3	6.8
银川	12.6	9.6	6.3
榆中	11.0	7.8	6.3
合作	10.3	9.6	6.8
平凉	11.8	9.0	7.8
平均	11.6	8.7	6.8

4.1.2 水汽通量和水汽通量散度

暴雨发生不但要有很好的局地水汽条件,而且要有源源不断的水汽补充;只有大量水汽在降水区辐合,才有可能形成暴雨(尤红等,2010)。在 5 月 24—25 日 700 hPa 水汽通量场图上,24 日 20 时来自孟加拉湾西南向的水汽输送带经四川盆地转向呈东南—西北走向的湿舌区,水汽通量大值区中心位于甘肃中部的临夏和定西地区等偏西南地方,其值达 $12 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;25 日 20 时湿舌区在东移过程中又一次转向呈南—北走向,湿区不仅范围明显扩大,而且强度明显加强。水汽通量大值中心主要影响甘肃中部的定西地区等偏西南地方,其值达 $16 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。此时,白银地区的南部会宁其值达 $12 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。有关研究表明,暴雨落区一般位于水汽通量大值区的下风方,而会宁就位于定西地区输送中心的东北侧,这对白银地区暴雨预报同样具有指示作用。水汽通量散度表征了水汽的集中程度,在前面分析高低空急流时已经证实了低层辐合和高层辐散水汽垂直输送机制,这里不再赘述。

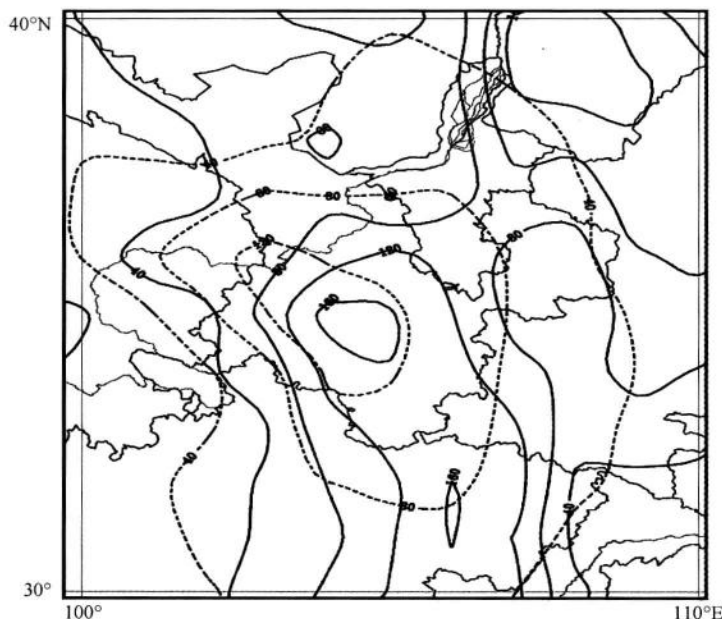


图 12 2010 年 5 月 24—25 日 20 时 700 hPa 水汽通量
(24 日虚线, 25 日实线)

4.2 动力条件

4.2.1 涡度和散度

暴雨发生的初始动力条件是高层有明显的辐散,低层有明显的辐合(徐美玲等,2002;黄东兴等,2000)。在 500 hPa 涡度场图上(图略),5 月 24 日 20 时甘肃中部地区正负涡度变化均不明显,5 月 25 日 20 时变为 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度,5 月 26 日 02 时明显变大为 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度,5 月 26 日 08 时明显减小为 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度。说明暴雨发生时本地气旋性曲率加大,低压环流加强,发展旺盛,有强烈的上升运动;在 700 hPa 散度场图上(图略),5 月 26 日 02 时白银地区偏南会宁有一 $-22 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心。这种低层辐合高层辐散的配置,形成了强烈的抽吸作用,进一步加强了大气层内的上升运动的发展,而暴雨就发生在上升运动区中,刚好与会宁出现暴雨的时段相吻合。

4.2.2 垂直速度

从各层垂直速度的分布情况看,5 月 25 日 20 时甘肃中部各层均处于上升气流中,并且各层上升气流在 5 月 26 日 02 时出现最大值。就会宁而言,300 hPa 垂直速度为 $-28 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 、500 hPa 垂直速度为 $-30 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 、700 hPa 垂直速度为 $-18 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这表明该地区上空有强烈的上升运动,并且 500 hPa 垂直上升运动最强,触发不稳定能量的释放。

4.3 能量条件

4.3.1 假相当位温

从 5 月 25 日 20 时 700 hPa 假相当位温场可以看出(图略),在甘肃偏西南地区有一高能

中心,高能轴呈西南—东北走向,高能舌伸向甘肃中部,白银南部会宁处于高能中心的边缘,表明本地有明显的能量输送,这对本地的强降水十分有利。

以 500 hPa 与 850 hPa 假相当位温之差 $\Delta\theta_w$ 描述层结稳定性, $\Delta\theta_w < 0$ 表示大气层结不稳定。分析各时次的 $\Delta\theta_w$ 可以看出(图略),从 24 日 20 时本地 $\Delta\theta_w > 1^\circ\text{C}$,表明大气层结比较稳定;从 25 日 20 时本地 $\Delta\theta_w < -10^\circ\text{C}$,表明这是大气层结趋于不稳定,强降水过程开始产生;从 26 日 08 本地 $\Delta\theta_w < -4^\circ\text{C}$,表明这是大气层结不稳定性大大减弱,强降水过程随之减弱并停止,与实况的变化基本吻合。

4.3.2 K 指数变化

K 指数表征了大气的温度垂直递减率和大气中低层的湿度条件与饱和程度。K 值越大,表征大气越不稳定和越潮湿。统计分析表明:当 $25 < K < 35^\circ\text{C}$ 时,就有可能发生雷暴;当 $K > 35^\circ\text{C}$ 时,就有可能发生成片的雷雨(中国气象局科教司,1998)。从 25 日 K 指数图上可以看出,白银地区偏南大部分地方处于 $K=36^\circ\text{C}$ 的中心区域内,不仅具备了发生强对流天气的条件,而且具备了产生较大范围强降水的条件。因此,这次白银偏南地方产生的暴雨落区与 K 指数对应亦比较好。

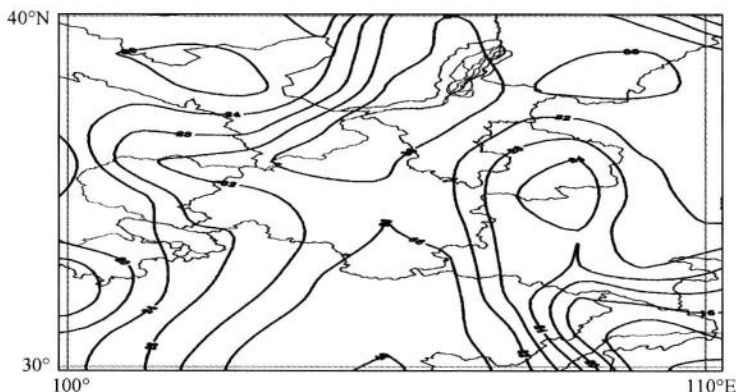


图 13 2010 年 5 月 25 日 20 时海平面 K 指数图

5 小结

(1)此次暴雨天气的环流形势在我国表现为“东高西低”型,其主要的影响系统是高原上高层东移发展的低压槽和低层发展起来的低涡。这种高低层的配置,为暴雨的发生提供了有利环流条件。

(2)偏西南高低空急流在本次暴雨天气过程中起到了重要的耦合作用。低空急流可以把孟加拉湾的暖湿空气源源不断地输送到四川盆地,进而到达甘肃中部,为当地提供充沛的水汽;高空急流引导高层气流辐散,具有抽吸作用,产生不稳定层结并形成触发条件。

(3)此次暴雨过程前、过程时、过程结束时,在 700 hPa 层上其比湿变化的顺序为过程前最大、过程时次之、过程结束时明显变小的特点,但过程前和过程中均大于 $8\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,可作为白银地区预报暴雨天气的指标之一。

(4)这次白银地区偏南地方的暴雨出现刚好位于水汽通量大值区输送中心的下风方,从而

建立了很好的水汽通道。

(5)垂直速度、涡度、散度满足了产生暴雨的临界值条件,对白银地区的暴雨天气预报同样具有很好指示作用。

(6)这次白银偏南地方产生的暴雨落区与假相当位温高值区及 K 指数等能量条件对应亦比较好,不仅具备了发生强对流天气的条件,而且具备了产生较大范围强降水的条件。

参 考 文 献

- 白银市综合农业区划编写组. 甘肃省白银市综合农业区划. 1990. 2-3.
- 白肇烨,徐国昌等. 中国西北天气. 北京:气象出版社,1988. 202-258.
- 黄东兴,黄美金等. 一次连续性大暴雨成因及雷达回波特征分析:气象,2000, **26**(7):50-55.
- 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:自然灾害学报,2008, **17**(3):16-21.
- 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:灾害学,2006, **21**(1):27-31.
- 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:干旱气象,2005, **23**(4):30-36.
- 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:高原气象,2007, **26**(2):373-379.
- 西北暴雨编写组. 西北暴雨. 北京:气象出版社,1992. 1-84.
- 徐美玲,段旭,孙绩华等. 云南初夏罕见暴雨天气的中尺度特征:气象,2002, **28**(6):43-51.
- 尤红,肖子牛,王曼等. 2008 年“7·02”滇中大暴雨的成因诊断与数值模拟:气象,2010, **36**(1):7-16.
- 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:干旱气象,2005, **23**(4):12-16.
- 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材. 北京:气象出版社,1998. 225-226.
- 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材. 北京:气象出版社,1998. 243-244.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社 2000. 194-198,320-343,375-381.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社 2000. 524-529.

2010年8月12日陇南特大暴雨降雨及落区预报、泥石流发生点预报分析

冯 军

(陇南市气象局,甘肃武都 746000)

摘 要:8月11—13日,陇南市八县一区大部分乡镇连续发生强降雨,引发暴洪、泥石流、滑坡等地质灾害造成严重损失。此次洪涝灾害造成陇南市9个县区936 562人受灾,37人遇难,11人失踪,受伤405人,农作物受灾面积52 193.24公顷,成灾面积41 872.75公顷,绝收10 435.56公顷,毁坏耕地面积4 094.97公顷。造成直接经济损失731 656.74万元;本文分析了暴雨发生的物理特征,从降雨的特征分析降雨机理,指出暴雨的发生根本原因是副高边缘低槽在东移的过程中形成低涡,在涡旋转移过程中,个别乡镇有降水,因强度太大,短时形成暴雨洪涝,泥石流、滑坡灾害。并指出了局地暴雨落区的预报方法。

关键词:特大暴雨 落区预报 泥石流点预报 分析

1 引言

暴雨是陇南频繁发生自然灾害,平均每年都有2~3次或其以上发生,甚至局地发生特大暴雨,因陇南境内高山林立,山谷陡峭,容易发生地质灾害,其发生规模大、爆发频繁、常堵江为患,为全国四大泥石流所在地之一。2000年“5·31”宕昌一次特大泥石流灾情相当于以前40年的总和的68%(王锡稳等,2004);王锡稳等(2004)对陇南地质灾害等级进行了研究;冯军等(2004)对典型流域区域临界雨量作了研究。长江上游滑坡、泥石流预警陇南一级站对部分滑、泥点资料进行了汇编(1999)。2008年7月21日、2009年7月14—17日两次特大暴雨相继发生,特大暴雨导致了滑坡、泥石流灾害的发生,损失超过历史上陇南暴雨之和,暴雨洪涝灾害共造成全市7县区、101个乡镇、1 295个村受灾、11.88万户、53.29万人受灾。这次暴雨洪涝灾害造成直接经济损失29.2亿元。2010年8月11—13日,陇南市八县一区大部分乡镇连续发生强降雨,引发山洪、泥石流、滑坡等地质灾害,致使多处交通路段严重损毁,电力通信服务中断,机关单位、厂矿企业和居民住房进水或倒塌,大量群众遭洪水围困。此次洪涝灾害造成陇南市9个县区155个乡镇1 612个村200 781户936 562人受灾,受灾区域和人口达全市的三分之一。造成37人遇难,11人失踪,受伤405人,农作物受灾面积52 193.24公顷,造成直接经济损失731 656.74万元;连年出现的暴雨灾害迫使政府部门采取强有力的保障措施预防灾害,陇南市政府组织陇南市气象、水文、水务、国土、地震、滑坡泥石流预警站联合开发全市雨量共享系统建设,作为预报员,分析特大暴雨形成机制、机理,为防汛抢险提前时间和市政府进行决策成为当务之急,本文分析了暴雨发生过程中,天气系统的物理特征、图形图像特征,从逐步降雨的特征分析降雨机理,指出暴雨发生的根本原因是副高边缘低槽在东移的过程中形成低

涡,在涡旋的过程中单点降落形成暴雨,因单点的强度太大,短时形成暴雨洪涝,泥石流、滑坡灾害。

2 天气概况和前期的环流背景

2.1 “8·12”特大暴洪灾害天气实况

8月11—13日全市多处突降大暴雨和特大暴雨,引发了自1943年有气象记录以来我市范围最广、强度最大、危害最重的突发性特大山洪地质灾害,单点雨量特强,形成的灾害重、大,面雨量较小,灾害少;主要有8月11日礼县江口突降78.8 mm降水,8月12日降水量成县黄渚261.8 mm,武都汉王72.7 mm,宕昌沙湾76.1 mm,官鹅沟67.8 mm,文县石坊63.9 mm,这些降水几乎都降在6小时以内(11日晚到12日凌晨),8月13日降水量武都洛塘64.4 mm,文县碧口79.4 mm。分布在除两当县之外的8县,和历年最大强度相比,成县黄渚12日261.8 mm的降水量,远超过成县气象站1968年8月2日出现的180.7 mm的历史日最大降水量记录,并且,12日5—6时1小时68.4 mm的降水量,也超过成县气象站62.1 mm的1小时历史最大降水量记录,同时,12日1—9时261.8 mm(9时后雨量站被冲毁,无记录),5—9时177 mm的降雨量实属历史罕见。武都汉王12日72.7 mm的降水量,仅次于武都气象站1984年8月3日出现的76.5 mm的历史日最大降水量记录,宕昌沙湾12日76.1 mm的降水量,超过宕昌气象站1984年7月22日出现的73.5 mm的历史日最大降水量记录,文县石坊12日63.9 mm的降水量,接近文县气象站1987年5月30日出现的73.0 mm的历史日最大降水量记录,因此,这次特大暴雨洪涝灾害性天气短时雨量之大、来势之猛、分布之广、危害之重,实属陇南市历史罕见。

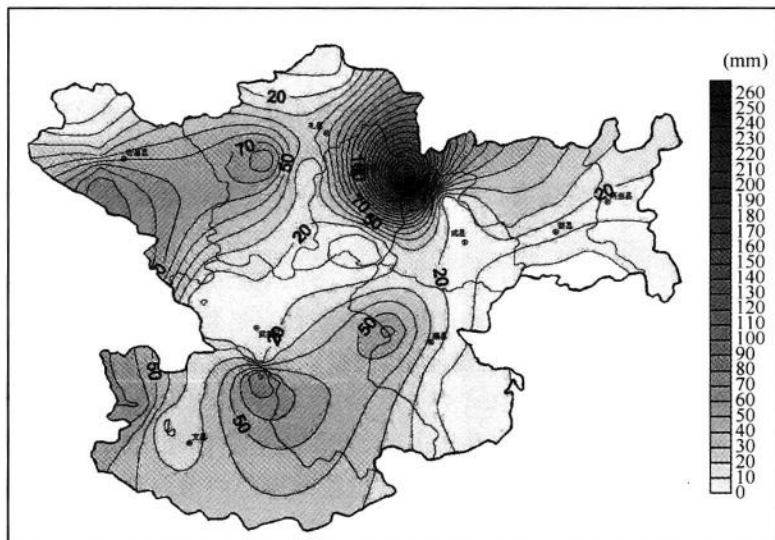


图1 2010年8月11日08时到13日08时陇南市降雨量分布图

2.2 前期的气候背景

2010 年 1—7 月盛行西北风,在西北气流的环流背景中有冷空气南压产生降水天气,天气比较平稳,降水过程雨势平缓、雨强弱,未形成明显的强降雨,降水量相对较小,武都、宕昌、文县,偏少 2—4 成,礼县、西和略偏少,徽成盆地略偏多,7 月中下旬副热带高压突然西伸北抬,其面积超过历史强值,强度形成 592 位势什米的闭合中心,西伸北抬到河套地区一带,并盘踞少动,在甘肃东南部形成高温天气,并在 22—25 日降雨暴雨,在陇东南产生严重暴洪灾害,7 月下旬末到 8 月初出现高温少雨天气时段,有六县出现伏旱。

3 高空环流形势

3.1 前期的环流特征

从 8 月 7 日 20 时的 500 hPa、700 hPa 高空图(图 2)上分析,在甘南以西的西北地区,形成一个暖高压脊,且有暖中心与之配合,500 hPa 中心温度是 20°C ,700 hPa 温度是 24°C ,而 200 hPa 是一个槽区,和冷区相对应。这样,陇南处于一个上冷下暖的暖高压前沿的层结,是暖高压的前沿面地带,这种结构因副高的进退,持续维持到 11 日 14 时未变,且在 8—10 日白天之间未有降水,而从 11 日下午到夜间,副高开始东撤,冷空气入侵,此次降水最先从礼县开始,再到宕昌,再移到武都、成县。

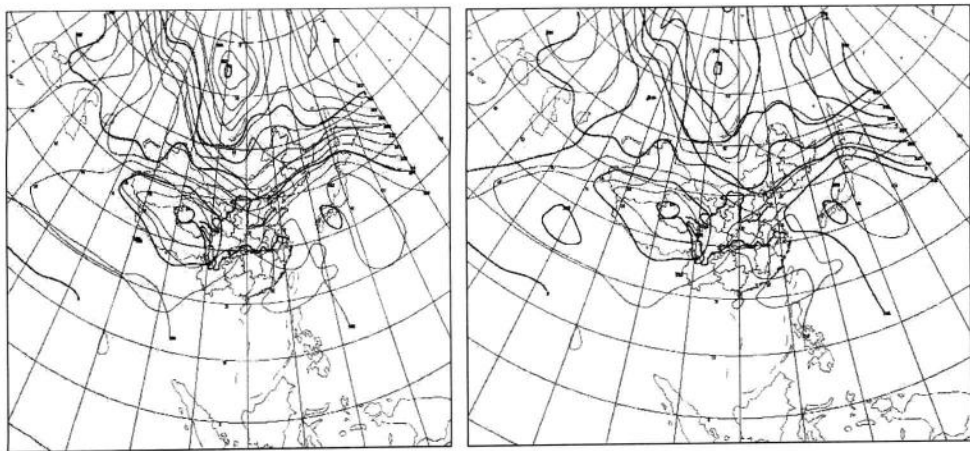


图 2 8 月 7 日 20 时的 500 hPa、700 hPa 高空图上

3.2 “8·12”暴雨发生的环流形势及物理量特征

3.2.1 环流形势

当天高空环流特征 8 月 11 日 08 时 500 hPa(图 3)上,新疆北部为长波槽,中纬度为西风环流带,到甘肃中部为西北气流区域,副高偏强,584 线西伸到河西走廊的张掖、酒泉一带,陇南处于 588 线的边缘地带,青海和西藏的交界处有 0°C 的暖区域中心,武都本站位于陕西略阳

到川北的暖中心边缘,西藏到青海有西南暖湿气流发展,东北有冷涡存在,此形势是陇南处于副高 588 线边缘两个低值系统交界处的西风环流之中,没有明显的冷空气南压,不利于降水。700 hPa 形势与 500 hPa 类似,也是处于副高边缘 312 线的西南气流带中,冷空气不强,不利于降水的发生,在甘肃南部有切变线存在,也算是最有利于降水的影响系统了。到 11 日 20 时 500 hPa 图上,副高加强西进,592 线西伸到陕西东部边缘,588 线北抬到兰州一带,且陇南为 0°C 的暖中心控制区域,但在兰州甘南有切变线存在。11 日 20 时 700 hPa 图上,青藏高原的暖气团加强,并形成 24°C 的强暖中心,新疆冷槽底部边缘移到河西走廊的张掖、酒泉一带,700 hPa 位于陇南的切变线东退,西南气流北端到陕西汉中一带,312 线略有北抬。此种配置为上干下暖的不稳定层结。

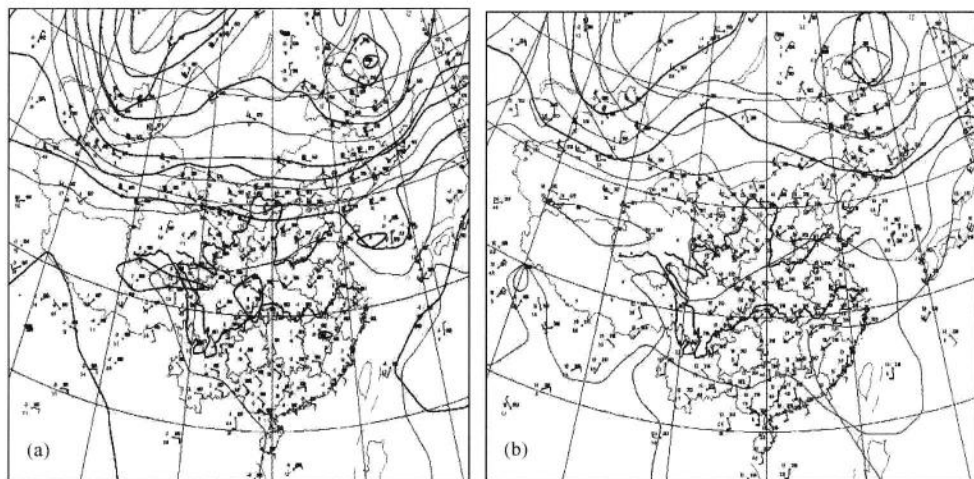


图3 8月11日08时500 hPa(a)、700 hPa(b)高空形势示意图

分析此形势,可能得出此次降水为一次普通的切变线降水,量级为小到中雨。

3.2.2 物理量特征

垂直速度:11日08时700 hPa垂直速度显示,青海东部为弱的上升运动区,700 hPa散度显示,兰州周围有较强的上升辐合区,11日08时500 hPa涡度显示,甘肃南部为不太强的正涡度区,青海到新疆的部分为负涡度区,所有这些显示,陇南为一次普通的雷阵雨天气也不太强,为此,早间10时的天气会商,报小到中雨,局地大雨,下午16时也发布同样的结论。但从16时发布完精细化预报后,注意到水汽通量图上显示,在陇南东部到陕西北部有区域为 $14 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽通量,在副高加强西伸北抬的过程中,陇南区域内的值为 $8 \sim 10 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,根据以前总结的经验,此值大于 $10 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 后,很可能出现暴雨。尤红等(2010)分析了水汽通量值的变化来确定暴雨的发生区域,易笑园等(2010)利用水汽通量值中的湿舌西伸的位置和数值大于 $6 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 对强降水落区有一定的指导意义,根据此条件,确定陇南在夜间到12日,可能出现区域性暴雨,且在下午7时左右,在天空还是多云天的时候,连续发布了暴雨蓝色、橙色预警信号两次,并及时传送到市委、市政府应急办和有关领导的手中,且在电视台进行了插播,走出了防汛抗洪的第一步。

3.2.3 本站 $T\text{-}\ln p$ 图分析

2010年8月12日08时是陇南强对流天气发生的时候,也是最旺盛的时节,CAPE值为 $947.9 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大上升速度值为 $43.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这个值正和陇南出现强对流天气时的值相当,08时显示整层处于不稳定能量之中,且在500 hPa以下湿度近于饱和。

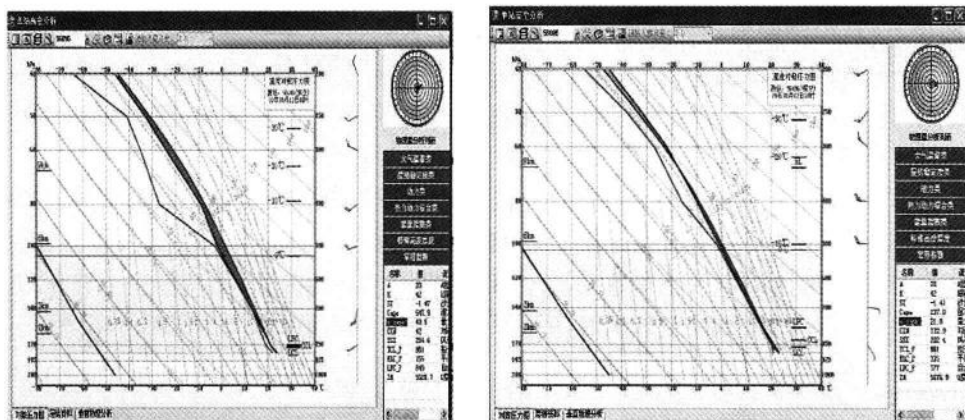


图4 2010年8月12日08时、20时武都本站探空层结曲线

4 “8·12”天气系统的云图及降雨特征

暴雨的降雨是在过程中逐渐开始的,分三个阶段:

第一阶段:“8·12”天气系统云图特征显示主要对流云团在陇南北部的宕昌、礼县一带,对流中心在宕昌、舟曲一带,在四川北部的北川和青海与甘南的交界处有很强的对流云团,四川中部到甘肃有北上的对流云团(图5),两股势力在陇南北部汇合,降雨起始礼县,西向平移后南压到宕昌,以单点暴雨降雨为主,礼县的江口、宕昌的官鹅沟都达80 mm的暴雨,逐渐发展成面降雨,单点暴雨成灾,区域面降雨影响不大。8月11日18时,礼县境内普降中到大雨,白河镇、江口乡降水量分别达96.7 mm和81.4 mm。21时40分至23时,宕昌县出现持续强降雨过程。

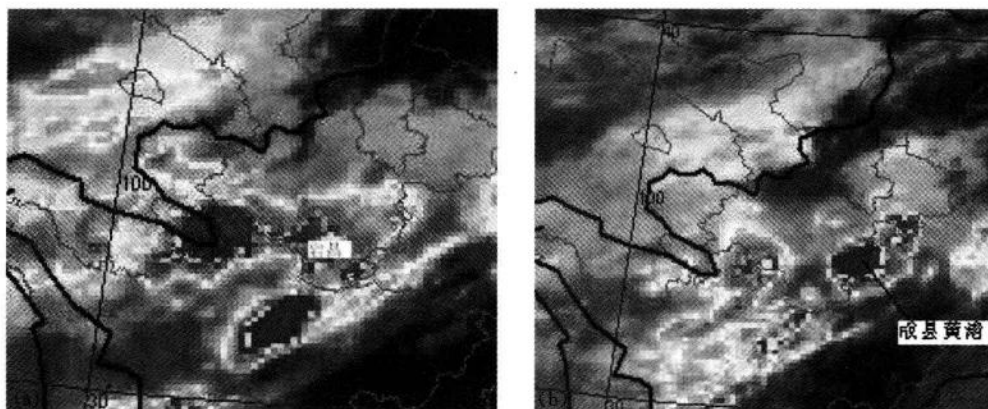


图5 2010年8月12日0时(a)、06时(b)FY2-D红外云图

第二阶段:云带在宕昌降雨结束后,东移南压在徽成盆地降雨(图6),8月12日0—10时,云团在陇南西和、成县形成卵圆形,成县的黄渚有密实的亮温低值核区域,单点出现特大暴雨,面降雨出现中到大雨,整体受灾,单点成灭顶之灾,主要集中在成县,成县普降中到大雨,其中,黄渚镇降特大暴雨,8月12日凌晨2时到10时,降雨量达261.8 mm。

西和县8月12日凌晨突降暴雨,晒经乡早6时许引发山洪,与成县交界处的两条沟发生了山洪和泥石流,沿晒经河的村庄全部受灾,死亡1人,5辆汽车被洪水冲入河中。西和县大桥乡郭坝村50 m护村河堤垮塌。

8月11日晚23时左右,康县成康路毛垭山路段发生严重山体滑坡,塌方量约3万~4万 m^3 ,县城至云台镇、大南峪乡、大堡镇方向交通中断,无人员伤亡。

第二阶段的降雨为“8·12”暴雨的核心,云图的特征为徽成盆地到天水的交界处有一有核的圆形暴雨云团稳定维持在其上空不动,从云顶亮温TBB的特征反映冷云一直在该处,和前几天高温加热后的地面暖空气不断扰动,产生强对流天气,直到高空水汽被完全转化成水在地面释放。(图6)TBB图显示冷空气从甘南高原入侵进入陇南境内,产生暴雨。

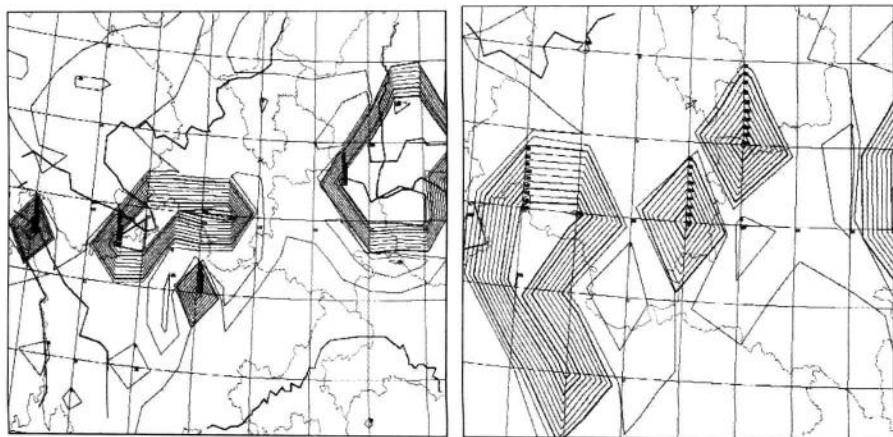


图6 2010年8月12日0时(左)、6时(右)TBB在陇南境内的分布

第三阶段:随着时间推移,雨带南压,8月12日13时至15时,武都区汉王、玉皇、甘泉、佛崖等乡镇出现暴雨,汉王镇3小时降水量30 mm,强降水引发罗寨佛堂沟、马坝小水沟,水子沟、老张沟等沟道出现泥石流,白龙江绸子坝段二分之一河面发生堵塞,但对行洪没有影响,兰海高速5标段项目部停放在马坝村小水沟附近的一辆翻斗车和一辆挖掘机被泥石流淤堵。

8月12日19时至21时,文县石坊出现暴雨,2小时雨量达63.9 mm。强降雨引发石坊乡旧关村发生泥石流灾害,20时50分左右,泥石流涌入白水江,造成白水江短时堵塞,21时左右,江水冲散泥石流淤积物,江水顺流,石坊乡旧关村9户居民房屋进水,泥石流涌入旧关小学操场。铁楼乡演武坪发生泥石流冲毁了鹄铁公路,并使白马河短时堵塞。

5 暴雨引发泥石流的机制特征

陇南是泥石流多发区,陇南地质灾害主要分布在白龙江流域、白水江流域和西汉水流域,主要形式为泥石流、滑坡,每年灾多、灾重,公路、铁路、高等院校和科研部门曾对白龙江流域的

泥石流进性考察(中国科学院兰州冰川冻土研究所等,1982),并在武都县先后设立三处定位观测站,进行了15年(1963—1978年)的研究工作,发现其分布密度比云南东川、大盈江及四川西昌等都大。其发生规模大、爆发频繁、常堵江为患,为全国四大泥石流所在地之一。根据以前上报的灾情和气象站雨量,白龙江流域10分钟降雨5 mm,并且持续,局地就有可能发生泥石流;徽成盆地1小时降雨超过20 mm就有可能发生泥石流。2007年建立区域气象站之后,监测到了部分乡镇的雨量,当气象站的雨量不大的时候,而乡镇的雨量可能达到暴雨以上的量级了,甚至可能已经超过爆发泥石流极限了。此次暴雨过程中,宕昌、礼县、成县、武都、文县个别乡镇都出现短时强降水,远远超过临界雨量值,爆发泥石流成为必然,尤其是成县黄渚镇,在植被未破坏和矿渣未堆积之前(1980年以前)以洪水为主,后因植被破坏及矿渣堆放,导致多次暴发泥石流。由于降雨量相对小,泥石流规模比较小,只对农田不同程度的毁坏,造成了一定的经济损失。但该沟存在大规模泥石流爆发的可能。从1993年开始采矿以来,植被被大量破坏,爆发泥石流就在所难免了,成县的总损失超过30亿。

6 数值预报模式预报情况分析

欧洲数值预报对此次降水过程时间长度预报较准确,从10日就开始预报,但量值上有些提前,量级预报降水在50~80 mm之间,趋势基本报对,对小范围内的降水在网格点范围内未报出。T213在雨量预报中,也预报有30~80 mm的降水,时间从11日开始到14日结束,相对恰当。最大点的预报从网格点的范围内未报出,个别乡镇如此大的降水监测值陇南自2006年开始建区域气象站以来是第一次,和历史的降水情况相比,因本站未有如此大的降水而不敢轻易下结论说发生了特大暴雨。

7 小结

(1)陇南“8·12”特大暴雨是在副高边缘西南气流的大背景下,主要影响系统是700 hPa甘南和陇南交界处的切变线。

(2)物理量特征表明,甘肃南部的特征利于降水,但不利于强降水发生,这和后来出现的雨量不大的特征相应,暴雨的出现是个别乡镇。分析这种形势可能是圆型的暴雨云团中,可能存在小的涡旋,涡旋过程中水汽在一个地方形成巨大的过饱和水汽团,当重量超过云内强的上升运动的浮力后,从一个小区域地方降落。形成局地暴雨,造成泥石流灾害和人员伤亡。整体全市区域性降水不大。

(3)水汽通量是一个很好的指标。

8 预报着眼点

(1)8月是暴雨多发重发的季节,分析清楚有利的暴雨降雨环流背景和强降雨的物理条件,从防灾减灾的观点出发,宁空勿漏,是预报暴雨的一条很好经验。

(2)做好短临监测:关注在此种背景条件下的区域自动站的第一个10 mm雨量,是暴雨的

落区,也是预报定量、定点的一个突破口,当出现此条件时,圈定第一个 10 mm 雨量点就是暴雨的落区,区域小,有利于抢险值班的安排。

(3)对特大暴雨来说,从监测到第一个点 10 mm 降雨出现开始,连续两个小时有大于 35 mm 以上的强降雨出现时,开始发布预警信号,到有 100 mm 降雨点出现,抢险的时间是能争取到的,在这个思想的指导下,当第一个 10 mm 的站点出现后,该点可能就是出现暴雨的落区点,接下来可能就会出现第二、三…个 10 mm,累积量就是暴雨甚至特大暴雨。以此点为圆心,周围十个乡镇为半径划圆,得出区域就是暴雨落区。误差为几个乡镇。

参 考 文 献

- 冯军,尚学军,樊明. 2004. 陇南地区典型区域流域临界雨量的确定及一次特大地质灾害天气成因分析, 2004 年全国地质灾害预报文集. 章国材主编. 气象出版社, 189-191.
- 王锡稳,陶建红,冯军,等. 2004. 陇南 5·31 特大泥石流灾害成因分析. 气象, 30(10): 43-46.
- 王锡稳,张铁军,冯军,等. 2004. 甘肃地质灾害气象等级预报研究. 干旱气象, 22(1): 8-12.
- 易笑园,李泽椿,李云,等. 2010. 长生命史冷涡影响下持续对流性天气的环境条件. 气象, 36(1): 7-16.
- 尤红,肖子牛,王曼,曹中和. 2010. 2008 年“7·02”滇中大暴雨的成因诊断与数值模拟. 气象, 36(1): 7-16.
- 中国科学院兰州冰川冻土研究所,等. 1982. 甘肃泥石流. 北京:人民交通出版社.

庆阳市“2010. 7. 22—24”区域性暴雨诊断分析

张洪芬

(庆阳市气象局, 甘肃西峰 745000)

摘 要:利用 MICAPS 系统及多普勒雷达提供的资料,分析了 2010 年 7 月 22 日到 24 日庆阳市区域性暴雨期间的高空大尺度环流特征、低层中尺度影响系统、高低空物理量分布、热力条件和动力机制、暴雨过程逐时卫星云图的中尺度云团变化特征及多普勒雷达观测等,得出,此次暴雨是在良好的降水条件下——处在副高外围、偏南气流明显、水汽通道畅通、有弱冷空气东移形成的,具有良好的高低空配置,是副高内部低涡降水的典型,这对今后进一步做好此类强降水预报服务具有十分积极的意义。

关键词:区域性暴雨 副热带高压 低涡 多普勒雷达 诊断分析

1 引言

庆阳市地处干旱半干旱地区,年降水量较小,主要自然灾害以干旱为主。在夏季遇强降水,有利于缓解干旱,增加水库蓄水,但是庆阳市地处黄土高原边缘的沟壑区,高度落差比较大,还由于特殊的土质原因,一旦遇到较大的降水就容易形成滑坡、泥石流等地质灾害。尤其是这种前期干旱明显,降水持续时间长,强度大的降水是我市山涧峡谷地带造成泥石流的重要原因,也是暴雨危害的主要形式。2010 年 7 月 22—24 日的庆阳市区域性暴雨是 2010 年入汛以来出现的覆盖面最广、持续时间最长、强度最强的一次降水过程。

陶诗言先生在 2004 年 3 月全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会上的报告中指出:“预报员接触的一般性降水比较多,而预见突发性强天气的机会不多,比较缺乏经验。”为了认识这次强降水天气过程的物理机制,以期今后的突发性强降水天气的预报提供有效依据,本文利用 MICAPS 提供的常规资料及多普勒雷达、卫星资料,从大尺度环流背景入手,用物理量诊断分析方法,分析了这次强降水天气过程的动力学特征。

2 天气实况与灾情

受 500 hPa 副高外围低涡和弱冷空气共同影响,7 月 22 日 20 时至 24 日下午,庆阳市出现了 2010 年入汛以来范围最广、持续时间最长、降水量级最大的天气过程,大部分地方出现了大雨,镇原、宁县出现暴雨,宁县降水最大,达 73 mm,西峰、镇原、合水、宁县、正宁部分乡镇出现了暴雨。正宁湫头 7 月 24 日 01 时 25.8 mm,宁县长庆桥 23 日 15 时降水量为 25.1 mm,出现了短时强降水。庆阳市所辖区域站 23 日出现 15 站暴雨,24 日区域站出现 2 站的暴雨。

表 1 庆阳市 2010 年 7 月 23 日、24 日各县雨量(单位: mm)

时间	西峰	环县	华池	庆城	镇原	合水	宁县	正宁
23 日	45.3	13.3	5.6	32.7	50.8	40.2	73.0	45.7
24 日	14.4	15.6	11.4	9.2	24.9	12.6	5.7	24.5

7 月 23—24 日区域性暴雨期间,宁县 330 多户农户庄基受损,倒塌损坏房屋及窑洞 569 间(孔);20 户庄基全毁,宁县剧院被水淹;宁县、镇原、正宁三县有 34 个乡镇,235 个村组,45 140 名群众不同程度受灾,直接经济损失 2 501 万元,农作物受灾面积 5 670 公顷,农业经济损失 978 万元。

3 成因分析

3.1 环流背景分析

3.1.1 500 hPa 高度场分析

22 日 08 时 500 hPa 高空图上,欧亚中高纬度为两槽一脊形势,巴尔喀什湖为低槽区,贝加尔湖东部为一高压脊,西太平洋副热带高压异常西伸(以下简称副高),与原位于蒙古—东北地区中部的高压系统贯通,高压 588 位势什米线的西端西伸至两湖地区,副高外围的 584 位势什米线西伸至新疆东部,584 线在贝加尔湖北抬,形成一个较强的脊区,在银川—平凉—陇南的上游有一切变,在切变线的上游,有弱的负变温;在华北西部和西北地区的东部,有大片的正变压、正变温区,预示着副高主力将进一步西伸;巴尔喀什湖冷空气受副高的阻挡,不能东移南下,其北部分裂偏北东移。

至 22 日 20 时,巴尔喀什湖低槽的北部冷空气继续偏北东移,副高主力加强西伸,在巴尔喀什湖南部的脊区变宽,合并发展的高压脊的北段伸至北极圈附近,阻挡了巴尔喀什湖低槽北部冷空气的偏北东移,在脊区贝加尔湖的南部,形成了一个闭合的 588 位势什米线的闭合高压,在河西东部—宁夏—关中平原—甘南一带形成一个闭合的 586 位势什米低涡,低涡中心在固原—平凉一带,低涡区北侧有弱的负变温,在青海—河西中西部—内蒙中西部还是以大片的正变高、正变温为主,则副高有西伸北抬的趋势。

至 23 日 08 时,贝加尔湖脊的北部在巴尔喀什湖北部东移的冷空气的推动下东移,脊的强度略有减弱,脊内的 588 位势什米线的闭合高压略有减弱,东部副高主力 588 位势什米线略有东移,其余形势基本维持,在庆阳市的上空形成一个闭合的低涡,低涡中心为 584 位势什米,在低涡的周围有比较强的水汽和能量的辐合,在河套以东的地区,有大面积的负变温区,则说明此次过程的降水面积扩大。

至 23 日 20 时,贝加尔湖脊内的 588 位势什米线高压区面积增大,在兰州临夏一带形成一个倒槽,庆阳上空为低涡控制,庆阳市上空还存在一个冷中心,平凉以南的地区为大面积的负变温区。至 24 日 08 时,贝加尔湖南部脊内的 588 位势什米线闭合高压与长江中下游的副高 588 位势什米线打通,形成了一个倒“U”形的高压走向,庆阳—兰州—银川处在倒“U”形底部的一个低涡控制之下,低涡中心在固原—平凉一带。故而,此次降水过程是高空低涡耦合了大量的水汽和能量,在弱冷空气的扰动下,形成的一次大范围、长时间、大量级的降水。

此次降水过程由于低涡的辐合中心在平凉至固原一带,庆阳市处在辐合中心外围偏东南地区,故而虽然降水形势良好(朱乾根等,2000)——处在副高外围,偏南气流明显、水汽通道畅通、有弱冷空气东移,却未形成更大量级、更大强度降水的原因之一。

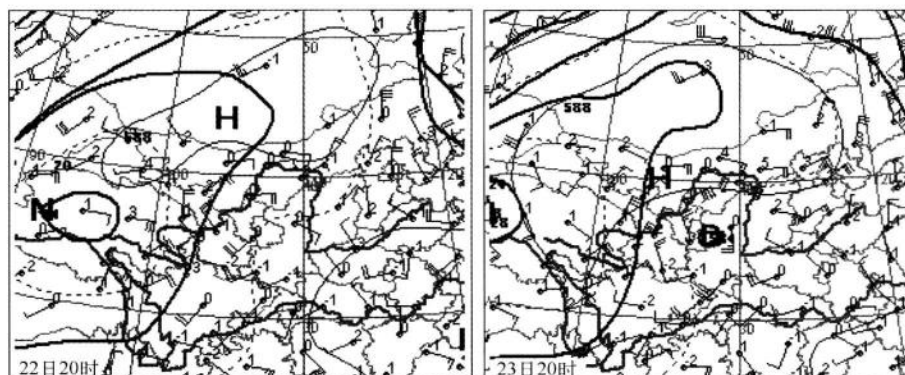


图1 500 hPa 环流形势图(高度场——温度场……及变温场)

3.1.2 700 hPa 高度场分析

7月22日08时700 hPa高空图上,副高外围的312位势什米线基本上为南北向,具有明显的、畅通的水汽输送通道,在青藏高原及河西西部也存在一个准南北向的、308位势什米线,庆阳市上游存在两高之间的切变。

至22日20时,副高外围的312位势什米线维持,偏南气流加强,在高原东部,有明显的低空急流经过庆阳—平凉上空;至23日08时,低空偏南急流维持,在兰州—平凉—银川一带,形成了一个气旋式涡旋,水汽在此大量汇集,是此次强降水过程降水最明显时段;至23日20时,在汉中—宝鸡—甘南的北部形成一条东西向的横切变;至24日08时,在平凉—甘南—宝鸡形成一个弱低涡,庆阳市处在低涡的西北部,降水系统南移,庆阳的强降水基本结束。强降水期间,低空偏南急流的维持是水汽和不稳定暖湿能量的主要来源,低空急流在陇东的辐合,汇集了大量的水汽,为持续降水提供了充沛的水汽条件。

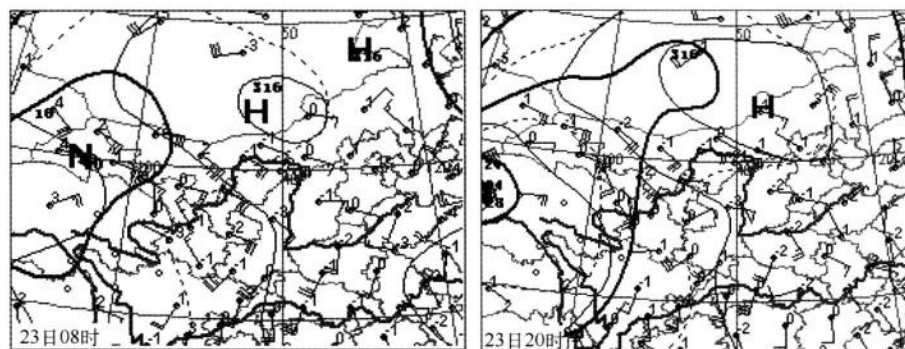


图2 700 hPa 环流形势图(高度场——温度场……及变温场)

3.1.3 地面形势场

从地面形势演变看,22日20时,在青海西部存在一个中心值为987.5 hPa的低压东移,

东海海面上存在一个高压区,形成东高西低的地面形势,东部高压阻挡青海低压的东移,在青海东部及陇东南以西形成等压线密集的辐合区,锋生效应维持,随着海面上高压强弱变化,辐合区东西震荡,但基本上在甘肃中南部长时间维持,对应降水过程持续。

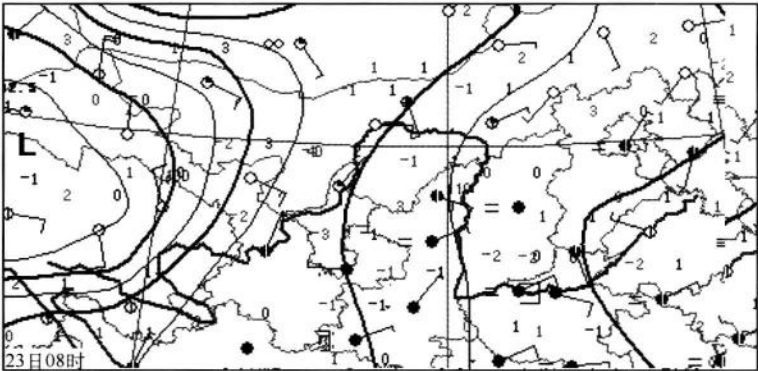


图3 23日08时地面形势图

3.1.4 层结稳定度分析

过程前,7月13—16日出现连续性降水,日平均气温偏低,地面湿度大;17—22日气温回升,21日华池、庆城、宁县都达到了33℃以上高温,近地面的水汽、热力条件促使了不稳定能量的积累。 K 指数和 SI 指数是反映大气稳定度状态及程度的定量指标,据统计,当本地 K 指数 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 时,出现对流性降水的几率达70%以上。 SI 指数反映层结稳定度,其负值越大,表示层结越不稳定。

7月22日20时庆阳上游—平凉的探空资料上可以看出(中国气象局科教司,1998), K 指数达到 36°C ,它表明降水前,河套中南部中低层暖湿显著增强,形成整层强的不稳定层结,有

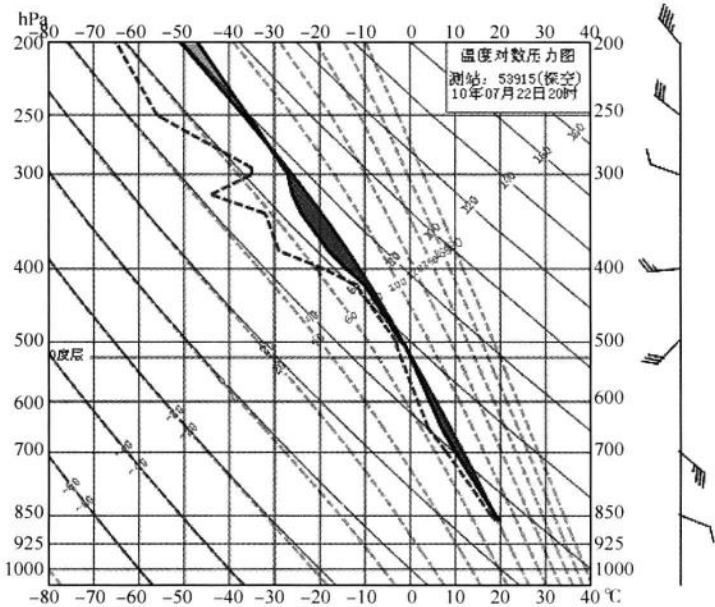


图4 平凉22日20时 T - $\ln P$ 图

出现区域性雷雨的可能;SI沙氏指数为 -0.3 ,表明系统不稳定,有出现对流性天气的可能。探空图上,平凉上空具有明显的正不稳定能量区,其湿对流有效位能为 528.5 J/kg ,抑制对流有效位能为 18.4 J/kg ,不稳定能量的对流上限高度达到 300 hPa ,为潜在不稳定状态,说明在略有扰动,使对流运动突破对流抑制状态时,就会有强烈的对流运动产生,且假相当位温是随高度的增加而增加的, 850 hPa 与 500 hPa 的假相当位温差达到 -1.5°C ,气层间变化不大,表明从 850 hPa 到 500 hPa 有深厚的湿层,上层的湿度比底层的还要大。中低层风随高度顺转,表明有暖平流,且地面 $\sim 300 \text{ hPa}$ 之间有明显的垂直风切变,这为对流单体的强烈发展提供了有利的环境条件,偏南气流伸展高度达到 400 hPa 以上,这表明在暴雨前,中低层具有深厚的暖湿气流的层结。

3.2 物理量诊断分析

3.2.1 水汽分析

水汽是产生降水的必要条件,强降水的产生不仅需要源源不断的水汽向降水区输送,还需要输送来的水汽在本地上空的辐合(董晓敏等,1986)。

(1)水汽通量 水汽通量是表征降水前及降水过程中水汽的输送情况。22日08时 700 hPa 水汽通量图上,有一条从南海沿云贵高原东部向北输送的水汽通道, $7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的相对大值区伸展至庆阳市北部;22日20时,随着庆阳西北部—兰州—临夏低值区的东移以及东南部低值区的北上,水汽通道的北部变窄, $7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的相对大值区向北延伸至河套以西;23日08时,在河套地区形成一个圆锥形顶端形状的大值区,庆阳市完全处在 $\geq 8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 大值中心;23日20时,形成一个完全南北向的水汽输送通道,最大值中心在庆阳—汉中一带,最大值为 $12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,六盘山以西为南北走向低值区,在水汽通量低值区的西侧等值线非常密集,经验表明西北地区的强降水经常发生在低层高湿舌的湿锋附近,而此时庆阳市正处在水汽通量等值线密集区的下游,说明该区域出现大量的水汽堆积与汇聚;24日08时,水汽通量大值区东移;在降水期间,有源源不断的水汽自南海向北输送至庆阳市甚至以北,为这次连续暴雨天气提供了丰富的水汽条件;而其垂直分布,说明了此次降水过程前及过程中在铅直方向上都具有深厚的湿层。

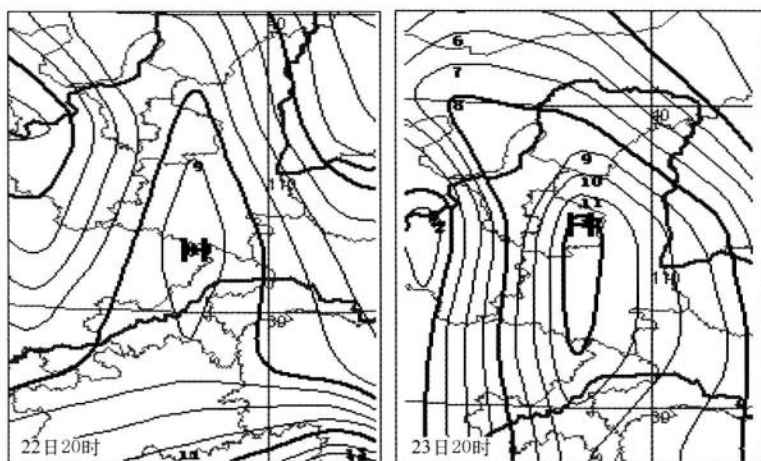


图5 700 hPa 水汽通量

产生提供了必要的动力条件和爱克曼抽吸效应;同时中低层正涡度值的不断增加也加强了水汽的辐合抬升,为暴雨的发生提供了动力条件。

(2)垂直速度分析 对降水而言,在水汽条件具备后,促使水汽冷却凝结的主要条件是上升运动,垂直速度的大小直接影响降水的强弱。通过对垂直速度场分析,可以看出,22—24日,700 hPa上,08时均是以上升气流为主,20时转为下沉气流;500 hPa上,08时均是以上升气流为主,20时庆阳的东南部以上升气流为主,西北部是下沉气流;随着高度的上升,垂直速度仍是负值区,说明降水前及降水过程中,庆阳市上空具有明显的上升运动;根据统计结果,500 hPa上,垂直速度小于 $-3 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,庆阳市就有产生较大降水的可能;而23日08时,庆阳市的垂直运动速度为 $-8 \sim 22 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。

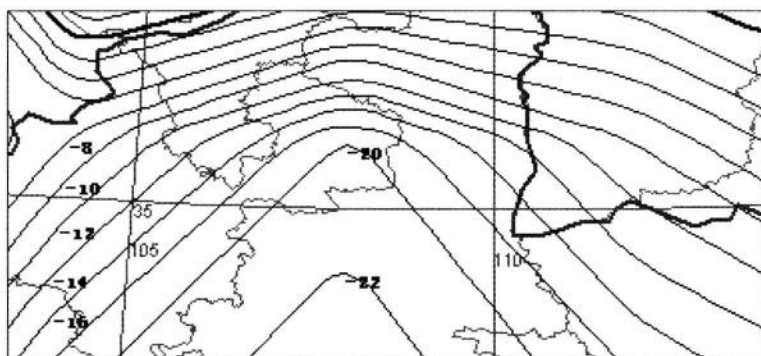


图8 23日08时500 hPa垂直运动图

3.3 雷达卫星资料应用

3.3.1 云图分析

从卫星云图(图9)上可以看出,前期降水是甘肃—宁夏段黄河附近有弱冷空气南压,引起局地对流云生成与发展。22日14时开始,有零星对流单体发展,至17时,对流发展旺盛,强对流区集中在六盘山以东地区,云顶亮温达到 -40.6°C ;至20时,与500 hPa在陇中—宁夏一带的低涡对应,有对流云源源不断地自低涡中生成,强降水云系一直在陇东上空盘旋,不断有新的云系自六盘山附近生成、东移中发展加强,影响陇东后,减弱东移出庆阳市,影响陇东强降水的最强云系的 T_{BB} 为 -52.07°C (23日2:30),至23日08时,降水云团东移至山陕一带,庆阳的中东部处在云团后部云系的控制之下;至23日14时,降水云团移在山陕一带加强,陇东

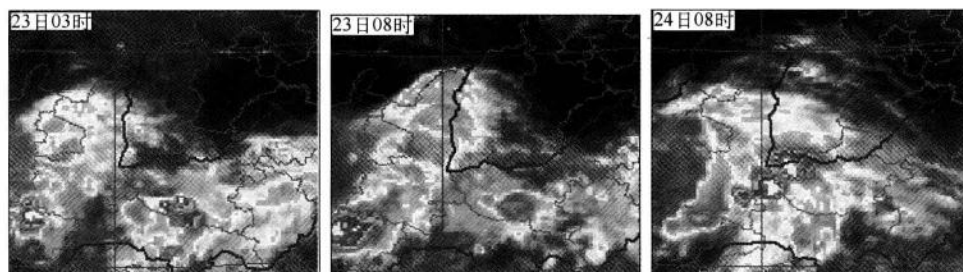


图9 卫星云图

的东南部处在强降水云团的后部,至 23 日 20 时 500 hPa 低涡的东移以及 700 hPa 横切变的南压,在陇东的南部,降水比较明显;至 24 日 08 时,降水云团开始扩散,在庆阳市中部有一南北向的低云,影响庆阳强降水的云系基本结束。

此次降水,在高压脊内部的闭合高压和副高之间的切变之间,不断有弱冷空气沿切变线向西南滑下,激发庆阳市上空的不稳定能量,影响对流云团的生成发展。

3.3.2 雷达分析

从回波强度上看(王楠,2007),7 月 22 日自 11 时开始,在测站以西就有混合型回波东移,14 时,在宁县、合水东部开始有对流单体发展,回波顶高 8 km;随着对流回波的发展与合并,至 14:45,在华池西南部—合水东部—宁县的东北部形成多单体对流群,其中最大强度为 50 dBz,回波顶高达到 10 km,该多单体群在向北移动过程中逐渐减弱,在正宁、宁县不断有小的对流单体发展、北移,至 19:02 再次在合水中东部—宁县的东北部形成对流云单体群,此时,最大回波强度是 51 dBz,回波顶高 11 km,西峰测站以西的混合型降水回波已经东移至测站附近;该对流群在北抬中逐渐减弱成为混合型回波,在环县中部、华池西部有两南北向的带状对流单体群发展东移(22 日 20:24),最大强度为 50 dBz,回波顶高达到 8 km;随着回波在北抬中的减弱,测站范围内以混合型降水回波为主,最大回波强度为 45 dBz,回波顶高为 8 km;在混合型降水过程中,强回波区长时间停滞不动的地方,则降水强度大,降水量级明显:23 日 15 时,较强混合型回波主要集中在测站以南,最大中心在西峰南部及宁县西部,该小时内,长庆桥小时降水量为 25.1 mm,24 日 01 时,降水回波已经东移至庆阳市的东部,正宁湫头小时降水量为 25.8 mm,至 24 日 09 时,区域性回波已经移出,庆阳市区域性降水基本结束。

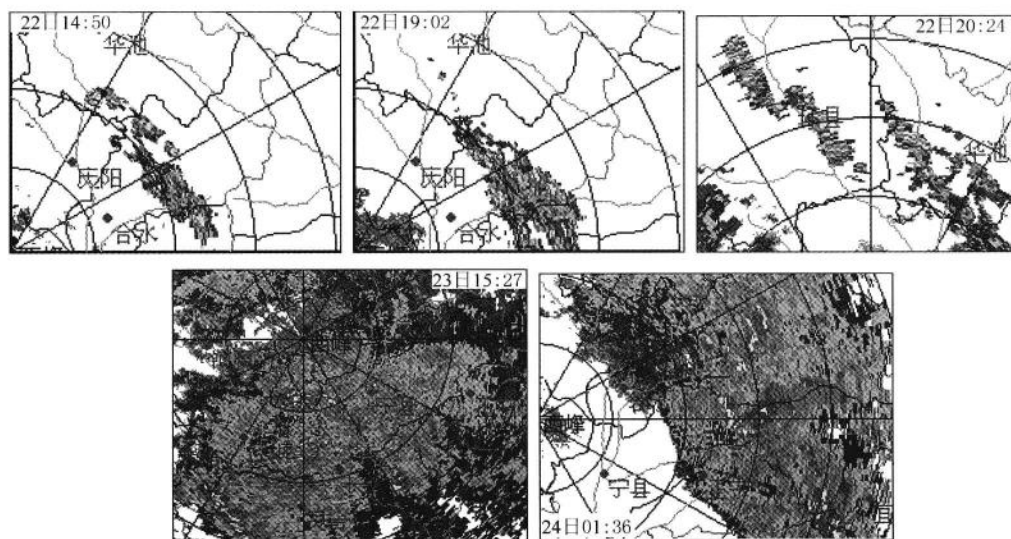


图 10 雷达强度回波

从回波速度场上看:在对流回波发展的初期,有多个成对出现的正负速度中心($\pm 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),这表明气流是辐合的,地面气旋处于发展阶段,在回波发展为混合性降水时,在速度场上有明显的零速度线,呈正“S”形,表明是暖湿气团中的降水(俞小鼎,2006)。

此次降水的雷达回波上表现为初始阶段以对流性降水为主,降水的中后期是混合性降水,

降水的时空分布不均,在强回波区长时间停滞不动的地方,则降水强度大,降水量级明显。

4 欧洲数值预报检验

欧洲数值预报场上,22日20时预报,与实况相比,000时即22日20时客观分析,形势场基本一致,但副高位置较实况偏南偏东,庆阳市上空的低涡,与实况基本一致,024时即23日20时副高位置较实况偏东,已经东退到了东部洋面上,048时即24日20时副高较实况略弱。23日20时预报,与实况相比,000时即23日20时,高脊内部闭合高压的范围较实况偏东,副高位置基本一致,024时即24日20时,副高与闭合高压打通后形成的高压位置实况较预报场在庆阳市上游向南伸展的更为明显,阻断了西北部冷空气的下滑,预报场上庆阳市上空的气旋较实况偏西。综合几天的预报值可以看出,副热带高压预报值较实况值弱;副高是此次降水的重要影响系统,位置的偏差对降水强度预报至关重要,可以看出,欧洲数值预报对于此次降水的预报基本与实况一致,但是对于高压位置及庆阳市上空的低涡的预测位置上有轻微的偏差。

5 本站预报工具的应用

应用 T213 数值预报的释用降水预报方法,没有报出此次强降水过程,说明该方法在实际预报中预报效果不好。

庆阳市气象台主要的预报工具是“大到暴雨指标模式预报方法”,主要预报思路是指标过滤,环流分型,中雨预报,大到暴雨预报,经过各个过程的判断、过滤,最终确定22日预报有24小时内有大到暴雨,该方法在24小时预报中具有较好的预报效果。

6 历史相似个例对比分析

通过运行吉惠敏的“相似预报系统”得出,与该次强降水相似的历史个例是2007年7月26日的对流性降水。该次降水主要是以阵雨、雷阵雨为主,未出现暴雨;两次系统在环流系统上存在一定的共同点,即均是两槽两脊形式,均是副高异常北抬,贝加尔湖北部有高脊存在,均在庆阳上游存在一个低涡,不同之处在于:2010年7月22日20时500 hPa高空图上,副高西伸明显,588线西伸至重庆一带,584线西伸至青藏高原,脊区在贝加尔湖的南部,形成了一个闭合的588线的闭合高压,低涡位置在平凉—兰州—银川一带(河套西部);而在2007年7月26日20时500 hPa环流场上,584线南部西伸至云贵高原西部,北部西伸至贝加尔湖西南部,中部有低涡,形成反“C”形状,588线只西伸至江浙中部地区,对流性降水的环流形势场上,低涡位于银川以北(河套北部),低涡后部有弱的负变温、负变高,显示副高即将减弱,在脊区内部,没有形成闭合的高压。两次降水过程在变温场、变高场、闭合高压、低涡位置及副热带高压位置的不同使得两次强降水过程降水强度不同。

7 分析预报的难点及着眼点

副高的强弱及位置难以精确把握,若副高稍强,则副高西进使得降水位置偏西;若副高东退,则降水位置则会偏东,故而,明确副高与北部冷空气的强度,是此类强降水的难点。

此次强降水过程是比较典型的副高外围偏南气流型降水,对此类降水,预报的着眼点应该是 500 hPa 上庆阳市处在副高 588 位势什米线外围偏西北 3~5 个纬度左右,有明显的水汽输送通道,以及水汽在本地上空的辐合;700 hPa 上有低空急流;地面形势是东高西低,高压中心在海上,低压中心在青海附近,东部高压阻挡了西部低压的东移,高低压之间在甘肃陇东附近辐合上升。

此次暴雨在短期预报的时效上需进一步提高,加强对副高的认识分析,进一步做好强度和落区预报、预警。今后要更进一步加强天气分析,加强上级指导预报的分析应用,进一步充实完善短期、短时天气的预报方法,密切监视,滚动服务,以达到为社会和地方经济建设服务的灵敏性、及时性。

参 考 文 献

- 董晓敏,田盛培.天气诊断分析方法简介.1986.北京:气象出版社,113-232.
- 王楠,刘勇,郭大梅.2007.用多普勒雷达资料对一次区域性暴雨的中尺度分析.气象,33(8):29-34.
- 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.2006.多普勒天气雷达原理与业务应用.北京:气象出版社,47-62.
- 中国气象局科教司.1998.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,234-242.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.2000.天气学原理.北京:气象出版社,310-399.

5月9日文县碧口大暴雨天气分析

吴朝霞

(陇南市气象局,甘肃武都 746000)

摘 要:2011年5月8日夜间到9日白天,陇南东南部遭受强雷阵雨袭击,出现大范围强降雨天气,有多个乡镇出现暴雨,其中文县碧口出现大暴雨,降水量达139.0 mm,造成国道212线文县到碧口段道路受损中断,乡村公路多处受损。本文通过环流形势、中尺度天气图分析、物理量和层结曲线分析、数值预报产品和区域站资料对这次过程做了详细分析得出:西伯利亚和贝加尔湖冷涡为这次暴雨提供了冷源,西南涡和切变线是这次暴雨的直接影响系统,武都站湿对流有效位能CAPE值高达 $1\,669.4\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,为入夏以来的最大值,激发了强对流天气。

关键词:大暴雨 中尺度天气图 物理量特征分析

1 引言

2011年5月8日夜间到9日白天,陇南市南部和东部遭受强雷阵雨袭击,出现大范围强降雨天气,有28个乡镇雨量超过25 mm,其中有10个乡镇出现暴雨(表1),文县碧口出现大暴雨,降水量达139.0 mm。这次暴雨范围广,时间短,强度大,主要出现在东南部,由于植被较好,大部分地方没有引发山洪、泥石流等地质灾害,只有文县碧口由于出现了短时强雷阵雨灾害性天气,两个小时降水量超过100 mm,造成国道212线文县到碧口段道路受损中断,乡村公路多处受损。

表1 2011年5月9日有关暴雨站点及降水时段统计

站名	日降水量(mm)	主要降水时段(时)	最大降水时段(时)	1小时最大降水量(mm)
文县碧口	139.0	22—02、07—09	22—23	61.9
康县长坝	92.9	21—01、05—07	22—23	32.9
康县碾坝	76.7	20—24	21—22	28.8
康县大堡	66.5	22—24	23—24	32.0
成县王磨	56.4	23—01、05—07	22—23	10.5
成县抛沙	52.9	21—12	21—22	11.5
成县黄渚	66.1	22—24	22—23	22.9
成县沙坝	51.8	21—01	22—23	15.9
成县小川	64.9	22—23、05—07	22—23	12.6
徽县高桥	56.0	23—02、05—08	23—24	10.6

从表1可以看出,这次暴雨主要出现在文县、成县、康县和徽县,其中文县碧口出现大暴雨,成县有5个乡镇出现暴雨,康县有3个,徽县有一个,主要强降水时段出现在22—24时和

05—07 时。

2 环流背景及影响系统分析

2011 年 5 月 8 日 08 时 500 hPa 欧亚中高纬度环流形势场上,乌拉尔山地区为高压脊控制,西伯利亚到贝加尔湖为低值活动区,在西伯利亚和贝加尔湖附近分别有冷涡生成,并有冷空气堆积,温度槽明显落后于冷涡,冷空气顺冷涡以西的西北气流下滑,在青海北部、东部形成短波槽东移,在高原西南部有明显的西南气流发展,并在玉树、合作和兰州形成一支风速为 $16\sim 20$ m/s 的中空急流;08 时 700 hPa 图上在甘肃南部即兰州、甘南到陇南、平凉有一条明显切变线形成;到了 20 时 500 hPa(图 1a)贝加尔湖低涡槽线的尾部一直延伸到甘肃省的东部,并有高原低槽形成并东移,孟加拉湾水汽沿西南气流向陇南市输送;700 hPa 图上(图 1b)在威宁、宜宾、达川、汉中中出现了一支风速为 $10\sim 12$ m/s 的低空急流,并在四川北部到陇南南部有西南涡形成,暴雨区文县碧口位于西南涡的东北方,低空急流的左前方,08 时的切变线移至陕西南部到陇南东部,并形成东西向的横向切变。所以此次暴雨过程是在这种有利的高低空系统配置的天气尺度背景下产生的(白肇烨等,1986),西伯利亚和贝加尔湖冷涡为这次暴雨提供了冷原,西南涡和切变线是这次暴雨的直接影响系统。

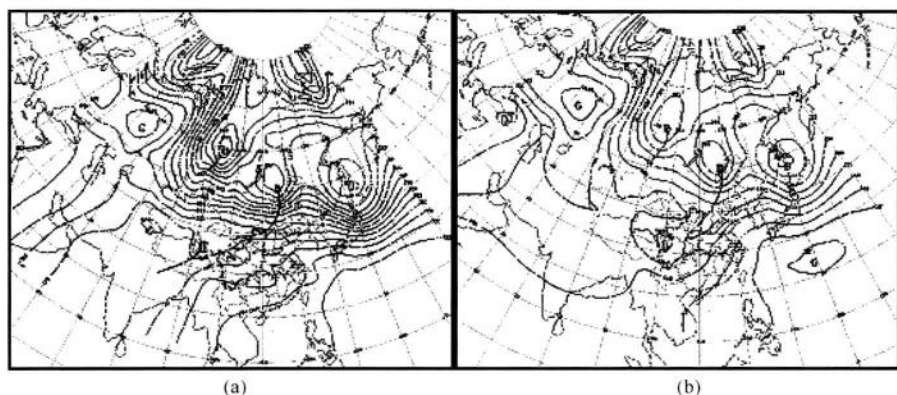


图 1 2011 年 5 月 8 日 20 时 500 hPa(a)、700 hPa(b)高空图

3 中尺度天气图分析

通过对 5 月 8 号 08—20 时地面图分析发现在 14 时兰州附近有冷锋形成;20 时兰州、甘南到武都之间有一条明显干线并有辐合线形成;陇南市到陕西南部、四川北部的露点温度明显升高,武都 T_d 大于 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,为这次强对流天气提供了有利的抬升条件。

700 hPa 高空图上 8 日 08 时在甘肃东南部即兰州、甘南到陇南、平凉之间有一条切变线,20 时移至陕西南部到陇南市东部,并形成东西向的横向切变,在四川北部到陇南市南部有西南涡形成;20 时在兰州、甘南到陇南市有一条温度露点差大于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的明显的干线;陇南市周边地区平凉、汉中为 $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的显著升温区;比湿由 08 时的 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,温度露

点差 $T - T_d$ 从 08 时到 20 时都为 0, 空气湿度已达到饱和, 在陇南市到陕西南部、四川北部形成一个明显湿区; 8 日 20 时 500 hPa 高空图上陇南市处于 24 小时变温为 $-2 \sim -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的显著降温区。下面给出 8 日 20 时中尺度天气图综合分析(图 2):

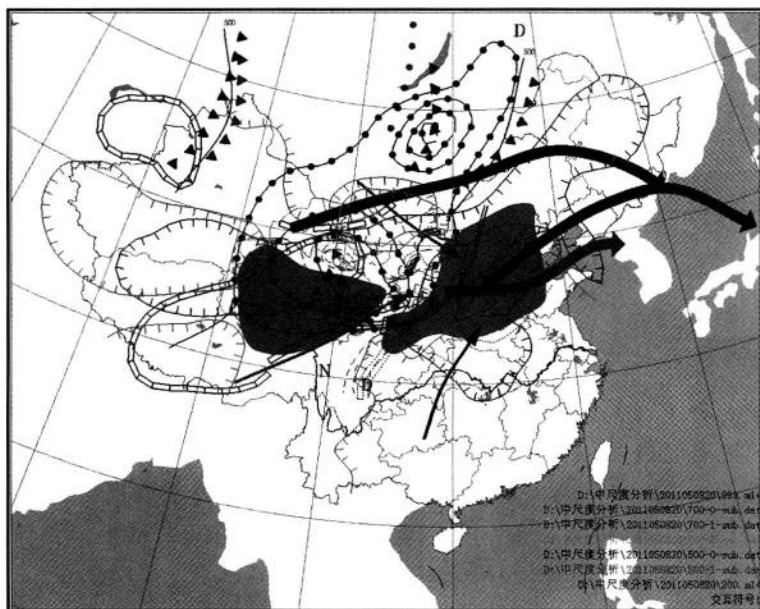


图 2 2011 年 5 月 8 日 20 时中尺度天气分析综合图(引用兰州中心台)

水汽条件: 陇南市到陕西南部、四川北部有一个明显湿区, 水汽条件较好。

抬升条件: 500 hPa、700 hPa 低空急流、切变线, 地面上甘南、陇南交界附近有干线, 陇南东南部有切变线地面辐合线; 四川北部到我市南部有西南涡。

不稳定条件: 陇南层结极其不稳定, $T_{700-500} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温差较大, 对流有效位能 $CAPE$ 值高达 $1\,669.4\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, K 值达 $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

综合结论: 陇东南一线发生强对流天气的可能性较大。

4 物理量特征分析

4.1 热力场分析

K 指数: 5 月 8 日 20 时 K 指数场(图 2)在我省、陕西、四川交界处为一大范围的高能区, 四川北部到陇南市为 $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高能中心, 说明陇南市的不稳定能量相当强盛。

总温度: 5 月 8 日 20 时 500 hPa 总温度场有一从四川北部到陇南市南部、陕西大部的高能舌, 中心值高达 $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 3)。

假相当位温: 5 月 8 日 20 时 500 hPa 假相当位温从四川北部到我市为一 $84\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高值区(图 9), 即高能中心, 说明我市高温高湿, 具备了潜在不稳定能量, 9 日 08 时减至 $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

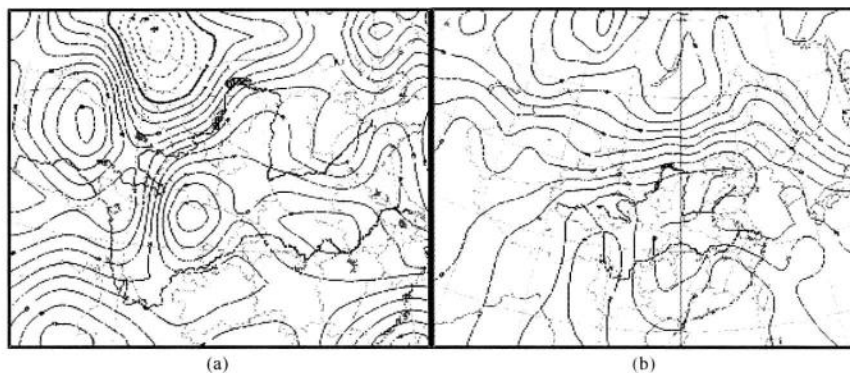


图3 5月8日20时K指数场(a)和总温度场(b)

4.2 动力场分析

涡度场:5月8日08时涡度场显示(图4),陇东南从850~400 hPa为正涡度区,其中700~500 hPa的正涡度最强,中心值达 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,400 hPa以上为负涡度区,200 hPa的辐散相当强,中心值达 $-60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,到20时,850~700 hPa为正涡度区,700~400 hPa负涡度区,400~300 hPa为正涡度区,300 hPa以上为负涡度区,在垂直面上辐合辐散交替出现,更有利于对流的发生发展(王治超等,2010)。

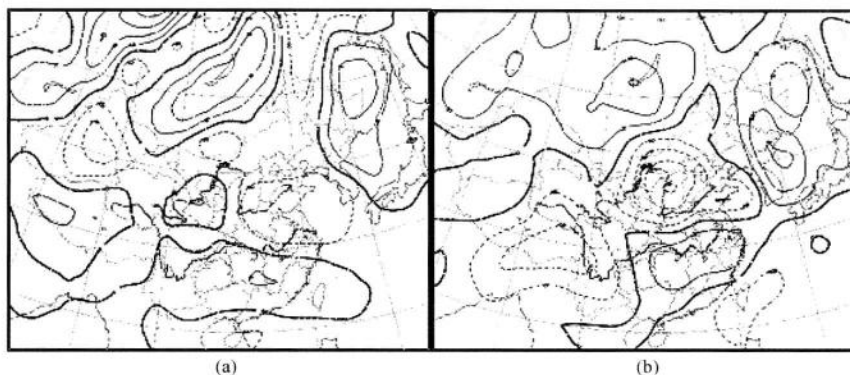


图4 5月8日08时500 hPa(a)200 hPa涡度场(b)

散度场:5月8日08时700 hPa散度场在青海东部有一 $-30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐合中心,到了20时(图5)该辐合中心移向陇南市和四川东北部,而且从20时散度场的垂直分布来看,850~700 hPa为辐合区,500~250 hPa为辐散区,这种低层辐合高层辐散有利于对流的发生发展。

垂直速度场:8日20时500 hPa垂直速度场(图5)显示在陇南市的后部青海大部到与甘肃省交界的地方为大范围的垂直上升运动区,中心值达 $-20 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 到9日08时移向陇南市东南部,大范围的强烈上升运动为这次暴雨提供了有利的触发机制。

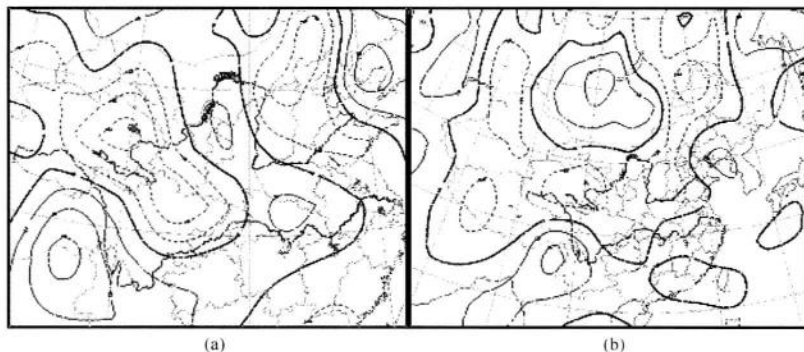


图5 5月8日20时700 hPa散度场(a)和500 hPa垂直速度场(b)

5 水汽条件分析

充分的水汽供应是暴雨产生的重要条件之一(陶诗言等,1980)。5月8日08时在陇南市从850到500 hPa中层均为一致的西南气流,对应700 hPa水汽通量散度图上,青海到四川北部有一 $-10 \times 10^{-9} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hPa})$ 的水汽辐合中心,到20时在青海、甘肃和四川三省的交界处发展为一 $20 \times 10^{-9} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hPa})$ 水汽辐合中心(图6),到20时大气的水汽含量已近饱和,水汽通量场和比湿场在四川北部到陇南市附近分别出现了高达 $14 \text{ g}/\text{kg}$ 和 $12 \text{ g}/\text{kg}$ 的高湿区(图7),较厚的湿层,大量的水汽辐合,源源不断的大量的水汽在这里汇集,为这次暴雨过程提供了充足的水汽保证。

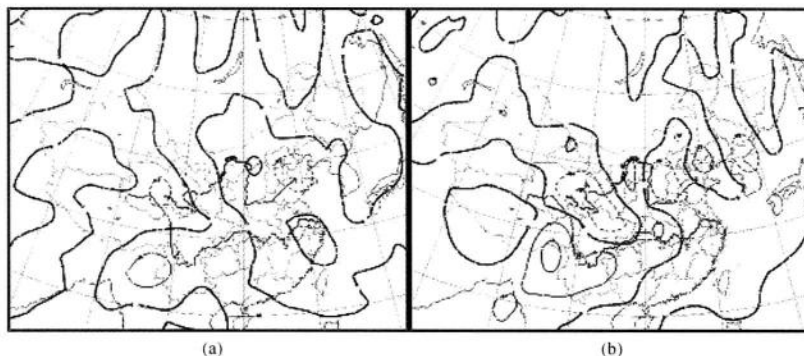


图6 5月8日08时(a)20时(b)700 hPa水汽通量散度场

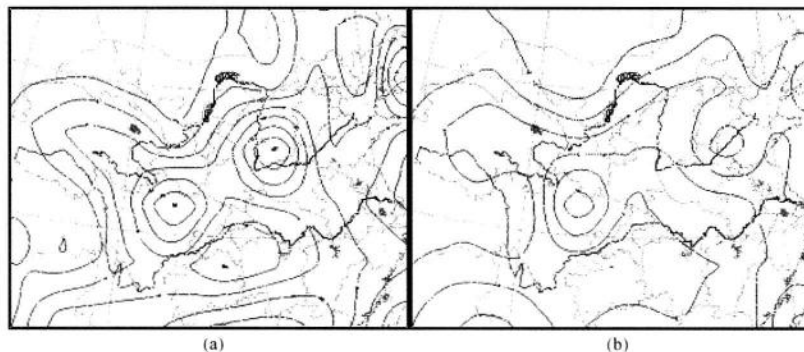


图7 5月8日20时700 hPa水汽通量场(a)和比湿场(b)

6 不稳定能量分析

从前面热力场分析得知四川北部到陇南市的不稳定能量已相当强盛。8日08时武都站 $T-\ln p$ 图(图8)显示, K 值为37, 湿对流有效位能 $CAPE$ 值为0, 到20时700 hPa附近以上为大面积正不稳定能量, K 值达46, 湿对流有效位能(图9) $CAPE$ 值以陇南市为界, 西北方为低值区, 东南方为大值区, 武都本站的 $CAPE$ 值高达1669.4 J/kg, 为入夏以来的最大值, 最大上升速度 $W-CAPE$ 为57.8, 使这次强对流天气具备了很强的不稳定能量。

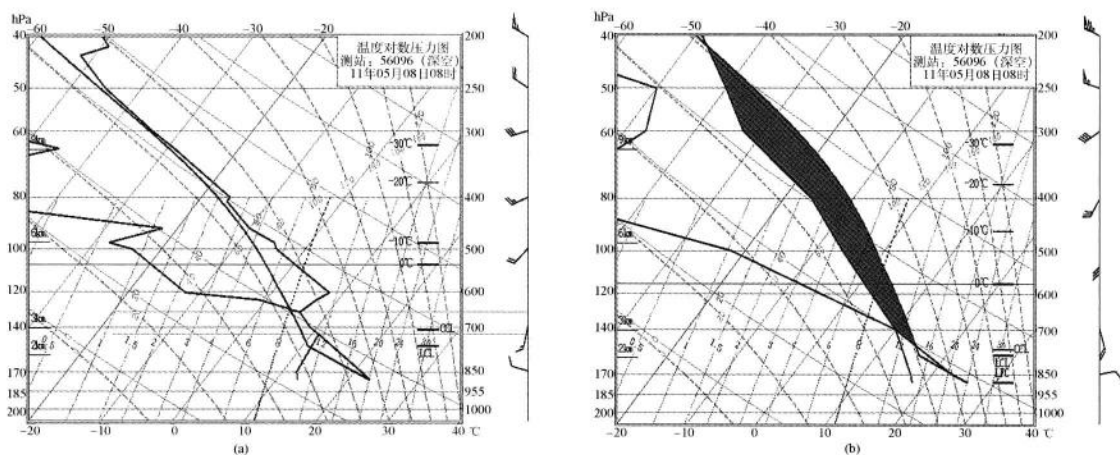


图8 5月8日08时(a)20时(b)武都站温度对数压力图

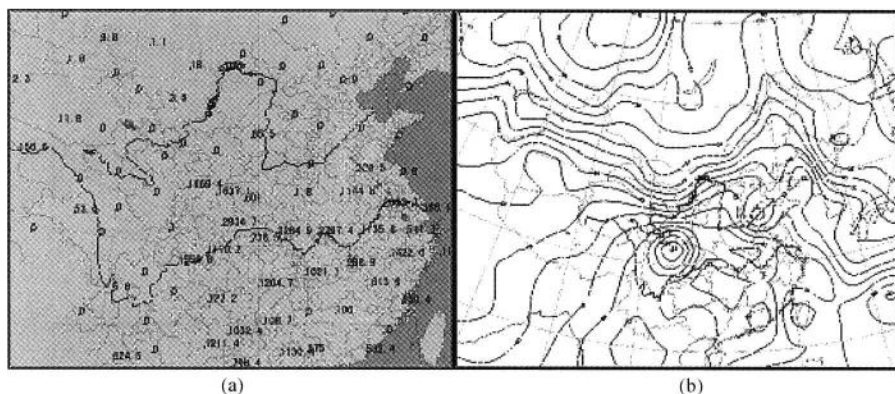


图9 5月8日20时对流有效位能 $CAPE$ 值(a)、700 hPa 假相当位温(b)

7 云图特征

5月8日晚20时(图10a)河套附近有锋面云系东移南压,并向西南方扩展,陇南市东部开始出现降水。

21时(图10b)天水到武都有对流单体发展,位置与08时700 hPa图上的切变线对应。

22时有多个对流单体成带状进一步向陇南市东部发展,亮温增强,亮温最低点出现在康县、成县的东南侧,康县碾坝出现强降水,1小时雨量达28.8 mm。

23时(图10c)四川北部有多个对流单体呈带状向北扩张发展,靠近陇南市南部的对流核增大,亮温最低点区域扩大,文县碧口1小时雨量达61.9 mm。暴雨点位于对流单体左前方。

24时(图10d)对流单体呈带状向北扩张发展,亮温最低点区域扩展到陇南市东部几县,文县碧口雨强较前1小时有所减弱,雨量为40.3 mm。

9日1时对流云团东移减弱,亮温最低点区域缩小,雨量也减小到10 mm左右。

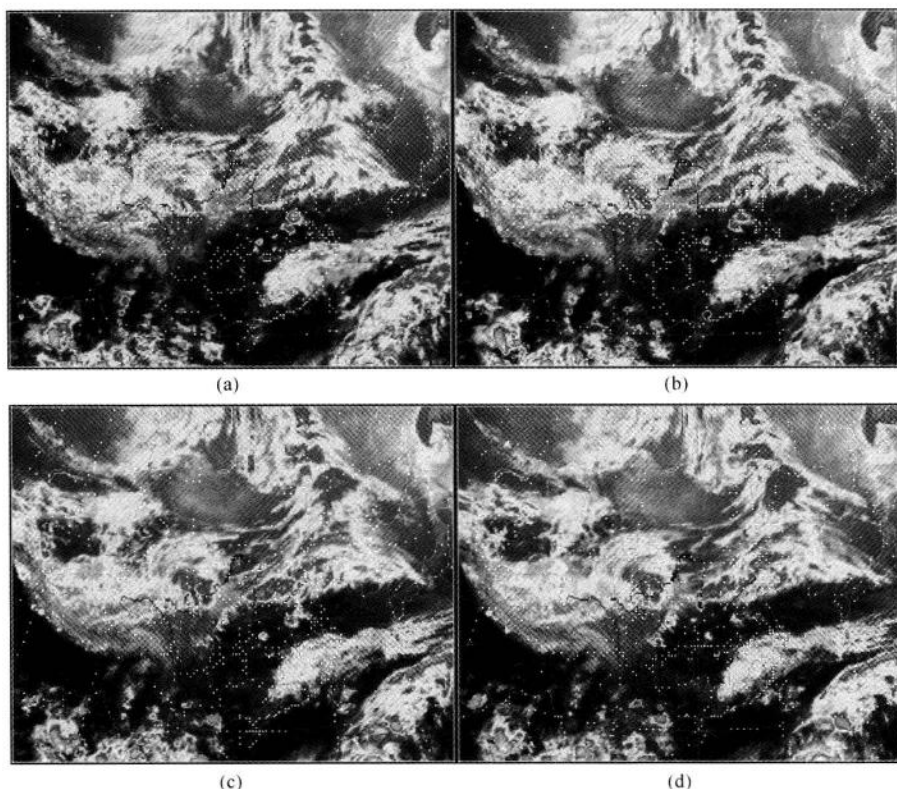


图10 5月8日20—24时FY-2卫星云图

8 数值预报产品分析

EC 700 hPa 风场预报 08 日 20 时在庆阳、天水、陇南有一条切变线,相对湿度场预报在陇南市为 90% 的高湿区。此次过程 EC 对 500 hPa 形势场和 700 hPa 的风场、切变线及湿度场的位置及生成时间预报都比较准确。

T213 预报过程出现在 8 日夜间到 9 日白天,量级为小到中雨

实况检验表明:过程从 8 日傍晚开始,以普通小雨开始,晚上 21 时后出现强对流天气,降水趋势和时间报对,但量级明显偏小。总体而言,此次过程 EC 形势场预报效果较好。

9 区域站资料监测

由于 SWAN 系统和短临监测预警系统陇南市在 5 月 16 日才开始起用,区域站资料在这次强对流天气过程中起到了关键的监测预警作用。

5 月 8 日晚 22 时区域站资料显示康县碾坝 1 小时雨量为 28.8 mm,引起了高度重视,打电话去康县落实降水资料的真实性,康县县城雨量较小,继续密切监视。

当 23 时监测到文县碧口 1 小时雨量达 63 mm,康县长坝 32.9 mm、成县黄渚 22.9 mm,陇南市东南部相继出现强降水,立即发布了暴雨橙色预警信号,为我们提早发布预警信号争取到了时间。

10 预报着眼点

(1)此次暴雨出现在有利的环流背景下,西伯利亚和贝加尔湖冷涡为这次暴雨提供了冷源,西南涡和切变线是这次暴雨的直接影响系统。暴雨出现在西南涡的东北方和切变线附近。所以当天气图上陇南附近出现低值系统(低涡、切变线等)时,要有强降水天气意识。

(2)在相应低值系统对应区有对流云团发展或出现强回波时,要有强对流预警意识。

(3)物理量特征分析表明:此次暴雨出现在水汽条件异常充沛、高能量中心、不稳定能量相当强盛的环境场中。

(4)中尺度天气分析表明我市东南部具备强对流天气产生的三个条件;武都站湿对流有效位能 CAPE 值为 1 669.4 J/kg,为入夏以来的最大值,具备了很强的不稳定能量,激发了强对流天气。

(5)区域站资料在这次强对流天气过程中起到了关键的监测预警作用。

参 考 文 献

白肇烨,徐国昌,等.中国西北天气.气象出版社,1986.

陶诗言等.中国之暴雨.北京:科学出版社,1980.

王治超,王咏青,马鸿青,等.华北中部一次切变线暴雨诊断分析.干旱气象,2010,28(4):422-429.

庆阳市一次区域性暴雨过程分析

李祥科

(庆阳市气象局,甘肃庆阳 745000)

摘要:利用 MICAPS 提供的资料,对 2010 年 8 月 8 日到 9 日庆阳市区域性暴雨的高空大尺度环流特征、低层中尺度影响系统、高低空物理量分布、热力条件和动力机制、暴雨过程卫星云图的中尺度云团变化特征等进行分析得出,主要是庆阳市先有两高切变积蓄能量,后受北方冷空气南压、中低层切变的共同影响,庆阳市北部对流迅速发展,环县、华池大部分地方出现了暴雨,局地大暴雨天气。通过此次过程的精细分析,对今后进一步做好区域性暴雨天气预报服务具有一定的参考意义。

关键词:区域性暴雨,物理量分析

1 引言

由于庆阳市地处黄土高原,地形较为复杂,境内山地起伏,沟壑纵横,建筑物防水能力比较差,加上黄土高原特殊的土质原因,以及高度落差比较大,一旦遇到较大的降水就容易形成灾害(林纾等,2008;李栋梁等,2000)。庆阳市的暴雨,据 1991—2006 年 16 年的气象资料统计, ≥ 50 mm 暴雨日数平均每年出现一次左右,以中南部出现机率最大,正宁暴雨次数最多为 1 次,北部较小,环县最少为 0.4 次。这次降水过程,历时短、强度大,极易造成房屋进水、垮塌,道路、桥梁毁坏等灾害,严重时甚至造成山洪泥石流等重大灾害。2010 年舟曲特大泥石流灾害就是对我们一个警示,因此对此类天气仔细分析,对我们以后预防此类天气造成严重灾害有很好借鉴作用。

2 天气实况概述

2010 年 8 月 8 日到 9 日庆阳市北部地区遭受暴雨袭击,环县、华池大部分地方出现了暴雨,局地大暴雨天气(表 1)。8 日夜间环县县城和 7 个乡镇、华池县城和 4 个乡镇受暴雨袭击,其中有 3 站超过 100 mm,达到大暴雨,最大降水量 159 mm,最大雨强出现在 9 日凌晨,环县虎洞乡 1 小时最大雨量达 64.2 mm。

这次区域性暴雨天气,是庆阳市 2010 年较大的一次灾害性天气过程。由于此次降水雨量历时短,引发山洪泥石流等次生灾害,造成道路、房屋、农田、水利、供电设施等损毁,牲畜死亡,给人民生活造成极大影响。经初步调查统计,受暴雨影响,庆阳市环县、华池、庆城、合水、正宁共有 34 个乡镇 80 948 人受灾,农作物受灾面积 8 522.6 公顷,倒塌损坏房屋(窑洞)1 681 间(孔)、进水 1 465 间,42 所学校的教学教辅及生活用房受损,19 所学校围墙倒塌,水毁道

路 688 km,灾害造成直接经济损失 10 958.5 万元。

表 1 庆阳市环县、华池 2010 年 8 月 8—9 日雨量(单位:mm)

乡镇	县城	环县	74.5	华池	74.0
环县—甜水	7.5	环县—山城	11.5	环县—罗山	65.2
环县—小南沟	61.5	环县—四合塬	59.5	环县—虎洞	159
环县—车道	0.5	环县—合道	0.3	环县—曲子	12
环县—毛井	5.2	环县—八珠	109.7	环县—洪德	52.3
环县—木钵	89.6	华池—元城	113.8	华池—林镇	58.8
华池—城壕	74.2	华池—山庄	76.1	华池—王咀子	10.1

3 环流背景分析

3.1 500 hPa 高空环流形势

8 日 08 时,贝加尔湖有低压中心,新疆东部到黑龙江为宽广槽区,槽底在银川一带。中纬度地区,长江东部及其沿海有 588 线形成的高压,西部青藏高原到青海中南部 588 线形成的高压区,两高之间在兰州到平凉庆阳一带形成切变,切变前的西南暖湿气流流向河套中南部输送,湿度条件较好,为庆阳市夜间对流发展前积蓄能量创造了良好条件;8 日 20 时,贝加尔湖低槽东移南压,有弱冷空气进入庆阳市,引发本地的不稳定能量,出现中小尺度的局地强对流天气,对局地暴雨形成创造了对流性环境,随着冷空气持续,夜间对流加剧,降水加强;9 日 08 时,贝湖低槽继续东移南压,并加深,在黑龙江西北形成低涡,庆阳市降水开始减弱,随着低涡东移,11 时以后冷空气影响减弱,本地能量释放完毕,降水结束。

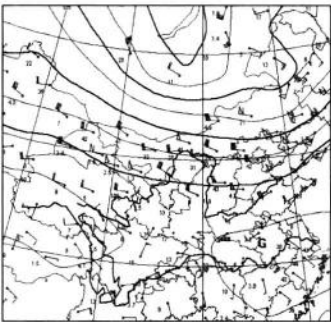


图 1 8 日 08 时 500 hPa 高空图

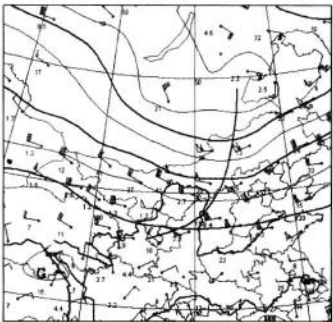


图 2 8 日 20 时 500 hPa 高空图

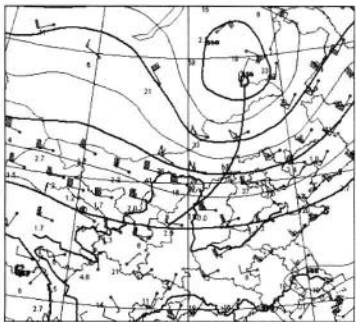


图 3 9 日 08 时 500 hPa 高空图

3.2 700 hPa 环流形势分析

8 日 08 时贝加尔湖低槽底部在内蒙古通辽一带,东部高压西伸到四川,西部在青藏高原东部偏坡处形成闭合高压,河套中南部受两高之间切变前的西南气流影响,为庆阳市降水储存水汽创造了条件;8 日 20 时,低槽底部北缩,后部西伸南压,有冷空气甩下,直达庆阳市北部地

区,而青海一带有闭合的低压形成,低压前有带着南海和印度洋水汽的西南暖湿气流北上,与冷空气在庆阳市北部地区交汇,形成了良好的低空辐合,使暖湿空气被抬升,对流发展加强,为庆阳市区域性暴雨创造了良好的动力条件;到9日08时,低槽缓慢东移,冷空气主力东移,庆阳市北部形成闭合低压,降水持续,随着冷空气的影响逐渐减弱,降水逐渐减弱结束。

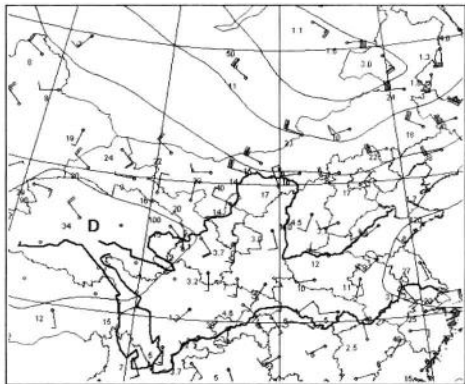


图4 8日20时700 hPa高空图

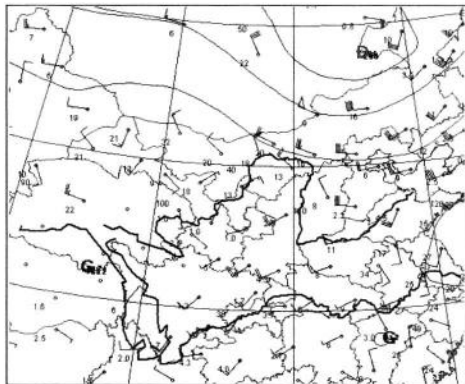


图5 9日08时700 hPa高空图

3.3 地面形势演变分析

8日08时我国内陆为大面积的低值区,北部贝加尔湖一带为高压区,东部沿海有高压阻挡,形成东高西低的形势,对形成大的降水十分有利;8日20时北方有弱冷空气开始南下,东部高压比较稳定,庆阳市西部形成闭合的低压,对辐合上升运动比较有利,庆阳市周边开始出现降水天气区;到9日08时,贝湖高压逐渐南压,庆阳市降水开始减弱,直至结束。

这次区域性暴雨天气由于北方干冷空气南下与西南暖湿气流交汇,产生强烈的辐合上升运动,引发本地积蓄能量,使本地对流发展加强,形成强对流降水天气。北方冷空气与西南暖湿气流是这次降水的重要影响系统,700 hPa西南暖湿气流为这次降水提供了良好的水汽条件。

此次降水500 hPa、700 hPa和地面上的系统配置良好。

4 物理量诊断分析

4.1 水汽条件

4.1.1 比湿分布

暴雨是在大气饱和比湿达到相当大的数值以上时才形成(朱乾根等,2000),据统计大多数大雨和暴雨发生时比湿 ≥ 8 g/kg。从700 hPa比湿分布图演变看,8月8、9日庆阳市一直处于高湿中心,8日08时庆阳市为10 g/kg的大比湿中心,8日20时(图6)有湿舌从南海及印度洋沿高原伸向庆阳市,到9日08时(图7)庆阳市仍处在高比湿区,湿舌仍然存在,庆阳市降水还在持续。由降水时间分布可见,8日20时后庆阳市的高湿度及湿舌的存在,为暴雨提供了良好的水汽条件。经验表明庆阳地区比湿达到10 g/kg以上,极易引发大降水。

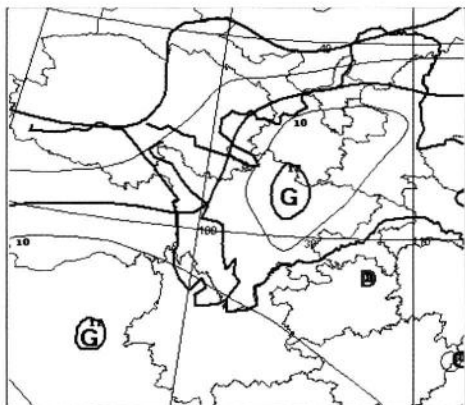


图6 8日20时700 hPa比湿分布

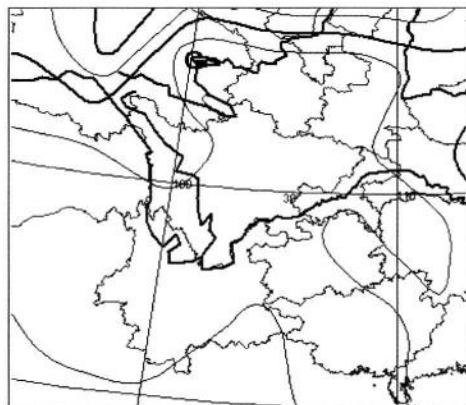


图7 9日08时700 hPa比湿分布

4.1.2 水汽通量和水汽通量散度

暴雨的发生不但要有很好的局地水汽条件,还要有源源不断的水汽补充。大量水汽在降水区辐合,暴雨才有可能发生(刘利民等,2009)。8日08时700 hPa水汽通量场上,从沿海到高原东南部到青海有一条明显的水汽输送带,中心位于高原和青海交界处,强度为 $6 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,到8日20时整个输送带整体东移,其大值中心移动到庆阳市,强度为 $6 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,这说明8日20时从南部沿海到庆阳地区水汽输送带畅通。暴雨落区一般都处在水汽通量大值区的下风方,而庆阳地区位于输送中心(其中心值在 $6 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上),这对预报强降水有一定的指示作用。

水汽通量散度表示了水汽的集中程度,分析700 hPa水汽通量散度图(图略),高原东部、青海中东部和银川东北部为水汽净输入区,大值中心位于青海中东部和银川东北部地区,说明这些地方有很强的水汽通量辐合,庆阳市处在辐合区下方,对暴雨的发生十分有利。

4.2 动力条件

4.2.1 涡度和散度

暴雨得以发生的初始动力条件是高层有明显辐散,低层有明显辐合。

从500 hPa涡度分布演变形势看,8日08时500 hPa涡度图上,庆阳市处于正涡度区,在蒙古的东部地区有中心值为 $60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心,并缓慢南压,底部伸向庆阳市,到20时500 hPa涡度上庆阳市被大中心外围的 $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心控制,说明庆阳市地区低压环流加强,气旋性曲率加大,发展旺盛,有强烈的上升运动。

8月8日20时700 hPa散度图上(图8),贝湖东南部为强辐合区,中心值达 $-30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,辐合区是东北西南向分布,辐合区呈舌状向本站延伸,庆阳市处在辐合区底部,庆阳市附近有两个弱辐合区,中心值 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,对应500 hPa散度图上,贝加尔湖附近同样有辐合中心,中心值为 $-20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,但庆阳市附近由辐合转为弱的辐散。这种底层辐合、高层辐散的流场分布,形成强烈的抽吸作用,进一步加强了整层大气层内上升运动的发展,而暴雨就发生在低层辐合、高层辐散的上升运动区。环县、华池的辐合辐散在8日夜间达到最强,与当地暴雨发生时段相对应。

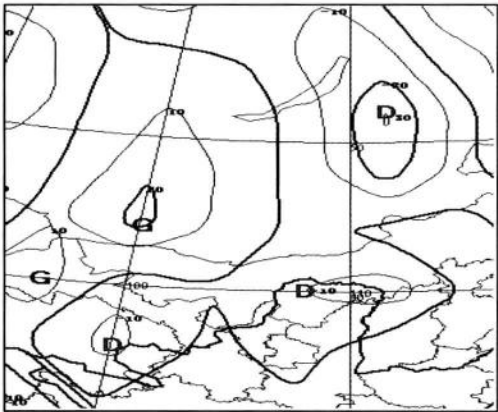


图 8 8 日 20 时 700 hPa 散度场

4.2.2 垂直运动

从各层的垂直速度分布情况看。庆阳市北部地区中低层在 8 日白天就处于上升气流中，从 20 时开始高层的下沉气流转为上升气流，上升区直达 200 hPa，并且各层的上升气流在 8 日夜间达到最强。庆阳市北部地区上升速度最大值 700 hPa 为 -8×10^{-4} hPa/s，500 hPa 为 -8×10^{-4} hPa/s，300 hPa 为 -6×10^{-4} hPa/s。这表明该地区上空整层大气有强烈的上升运动，强烈的上升运动触发不稳定能量的释放，有利于强降水天气的发生发展。而根据庆阳市多年统计结果，垂直速度小于 -3×10^{-4} hPa/s，庆阳市就有产生较大降水的可能。

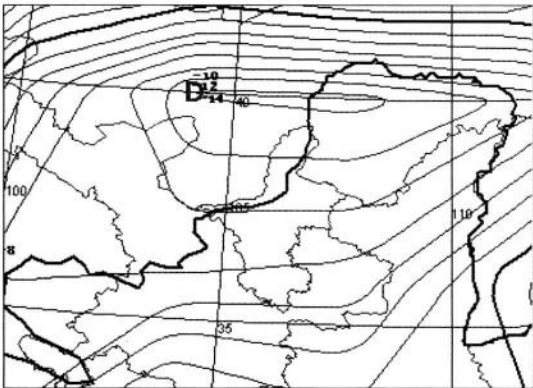


图 9 8 日 20 时 500 hPa 垂直速度

4.3 能量条件

4.3.1 假相当位温

在同一气压条件下，假相当位温越大，空气越暖湿，越小空气越干冷。从 8 月 8 日 08 时 700 hPa 假相当位温场可以看出，庆阳市有一高能中心，降水区域处于高能中心边缘，高能轴呈西南—东北走向，高能舌伸向庆阳市。8 日 20 时，700 hPa 和 850 hPa 假相当位温场的高能中心均位于庆阳市西南部，庆阳市一直处于假相当位温大值区，这表明该地区有明显的能量输

送,这对于该地区的强降水形成十分有利。以 500 hPa 和 850 hPa 假相当位温之差 $\Delta\theta_w$ 来描述层结稳定性, $\Delta\theta_w < 0$ 表示大气层结不稳定。分析各时次的 $\Delta\theta_w$ 图可以看出,从 8 日开始庆阳市及西南地区有一宽广的层结不稳定区,其不稳定中心 8 日 08 时位于青海东南部,8 日 20 时移至四川东北部庆阳市南方,不稳定中心向偏北偏东方向移动 $\Delta\theta_w$ 逐渐增强,中心为 -16°C 。分析 $\Delta\theta_w$ 图,庆阳市一直处在负值区,到 8 日 20 时(图 8)达到最强 $\Delta\theta_w > -4^\circ\text{C}$,说明该地区大气处于极不稳定状态,有利于暴雨发生。9 日 08 时 $\Delta\theta_w$ 上升到 0°C ,表明经过强降水能量迅速释放,大气不稳定性显著降低,而此时降水强度也在减弱。

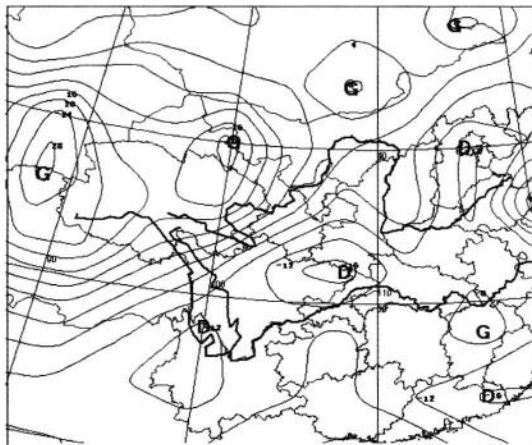


图 10 8 日 20 时 $\Delta\theta_w$

4.3.2 海平面 K 指数分析

过程前,8 月上旬庆阳市连续多日的高温天气,日最高气温高于 29°C ,近地面积聚的热量条件促使了不稳定能量的积累。

K 指数和 SI 指数是反映大气稳定度状态及程度的定量指标,据统计,当本地 K 指数 $\geq 30^\circ\text{C}$ 时,出现对流性降水的几率达 70% 以上。SI 指数反映层结稳定度,其负值越大,表示层结越不稳定。8 月 8 日 20 时庆阳市有 40°C 的 K 指数中心(图 11),全市范围内的 K 指数都大于 32°C ,庆阳市北部有 SI 指数负值中心(图 12),中心值为 -4 ,全市大部分地方 SI 指数都为负值。同时分析 $T-\ln p$ 图发现,8 日 08 时庆阳市近地面层有逆温层存在,逆温层有利于能量堆积,冷空气南下使积聚的能量得以释放,为产生暴雨提供了能量来源。

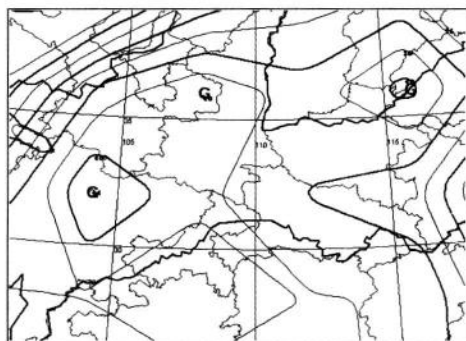


图 11 8 日 20 时 K 指数场

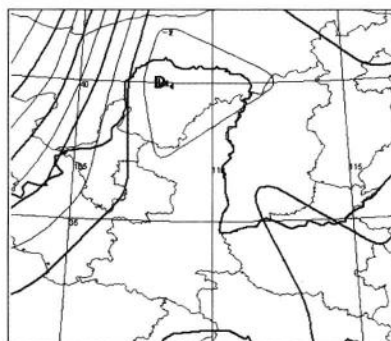


图 12 8 日 12 时 SI 指数场

5 探空图分析

以庆阳市周边探空站的分布情况来看,平凉站更接近庆阳市;但这次降水过程的强降水区域比较偏北,降水影响系统偏北,故而银川的探空资料比平凉更能说明问题。

从8日08时银川 $T-\ln p$ 图上看(图13),500 hPa以下温度露点差($T-T_d$)较大,湿度小,500 hPa以上湿度较大,400 hPa还存在饱和层,说明大气层是底干上湿,当遇到冷空气抬升时,水汽容易凝结,产生降水,由于饱和层较高,水汽凝结降落不容易形成冰雹。探空图上,银川上空具有明显的正不稳定能量区,不稳定能量的对流上限高度达到420 hPa,地面~500 hPa之间有明显的垂直风切变,这为对流单体的强烈发展提供了有利的环境条件。

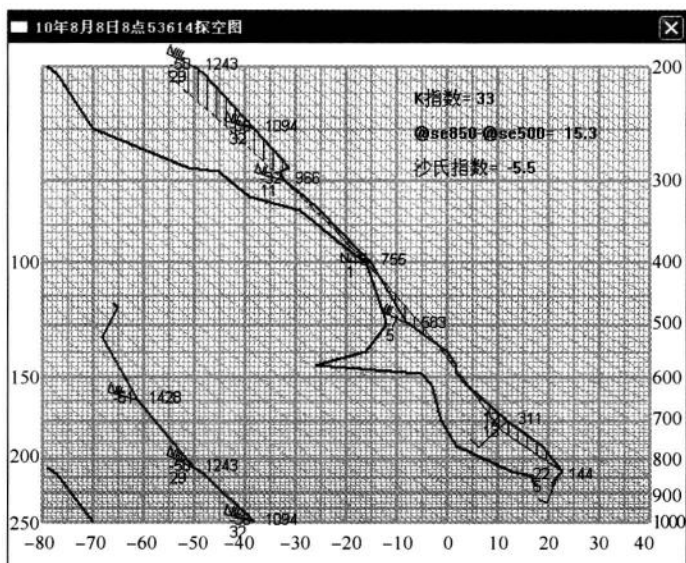


图13 8日08时银川 $T-\ln p$ 图

6 卫星云图演变特征

8日20时卫星云图上开始有对流云系发展,在8日20时到9日11时,卫星云图上对流云系急速发展,并缓慢东移,东移的对流云系中不断有块状对流云生成并发展,对应高空的冷空气通道缓慢东移,慢慢移出庆阳市,强对流天气随之结束。

7 雷达回波演变特征

从回波强度上看,自8日22时开始,环县、华池北部地区就有混合回波发展东移,强度一直维持在25~50 dBz,比以往暴雨天气雷达回波的25~35 dBz回波明显要强。23时环县、华池开始有对流单体发展,23:37虎洞一带的对流单体发展到最强,中心55 dBz,顶高10 km,随

着回波东移过程逐渐减弱,并在东移过程中开始组合合并,出现每小时超过 20 mm 的短时强降水,到 9 日 3 时降水发展到最强,有虎洞、林镇等多个站点产生短时强降水,其中虎洞一小时最大雨量 64.2 mm。在此之后,对流回波不断减弱,降水以混合型降水回波为主,强中心范围比较零散,降水中心停留时间较长的地区,降水量相对较大。7 时以后回波开始明显减弱,东移速度加快,11 时不再影响庆阳市地区,降水结束。

从回波速度场上看,在雷达北部一直存在负速度,东南方向为正速度,反映出西北气流维持,持续不断的混合云系自西向东移动,23:37 虎洞有正负速度中心,说明当地有气旋性辐合,有上升气流存在,产生强降水条件较好,而实况当地 1 时、3 时都有强降水出现,也反映出降水云系中有对流存在。从零速度线来分析,整个降水过程零速度线呈不规则的反“S”型,说明这次降水为冷平流为主产生的降水。

这次降水回波顶高中心高度有 15 km,最早出现在 23 时 50 分左右,地点在环县的八珠和华池的元城一带,后在环县、华池的多个暴雨站点有 15 km 顶高出现,0—3 时在环县的虎洞多次出现并维持,与对流单体生成发展时间相吻合,说明当地对流比较强盛,有对流发展时段降水强度较大。到 4 时以后降水以混合云为主,顶高维持在 10 km 以下,对流云系发展减弱。

8 历史相似个例对比分析

通过运行吉惠敏的“相似预报系统”得出,与该次强降水相似的历史个例是 2008 年 8 月 26 日的阵性降水,全市出现了小阵雨天气,8 县(区)只有一个站有 0.1 mm 的降水,其余县(区)为 0.0 mm。两次过程在环流系统上存在一些的共同点,都是 500 hPa 冷涡偏北东移,低槽底部伸展到庆阳地区,700 hPa 西南暖湿气流发展旺盛;不同之处在于:2010 年 8 月 8 日 08 时 500 hPa 高空图上,副高西伸顶点比 2008 年 8 月 26 日要偏西偏北一些,前者中高纬度为一槽一脊,后者为两槽一脊,2008 年 8 月 26 日这次过程没有两高切变,没有切变前的西南暖湿气流吹过庆阳市,湿度条件相对较差,能量条件也差,另外冷平流明显偏弱,冷空气势力也较弱,造成降水强度较弱。

9 预报难点及预报着眼点

第一个预报难点是 8 日 08 时 500 hPa 两高切变比较偏南,700 hPa 有偏南气流,这种系统多考虑阵雨或雷阵雨天气,很难考虑到暴雨天气。第二个难点是探空显示底干上湿,对产生强降水十分不利,预报时很难把握。第三个难点是冷空气的强度比较难把握,此次过程若冷空气弱一些很有可能是一个小阵雨天气。对冷空气及冷平流的精确分析是此次暴雨预报的一大难点。

此次强降水过程预报的着眼点要从冷平流的分析上入手,精确仔细地分析冷平流的强度,明确水汽输送通道以及辐合中心;另外探空图上的逆温层也是一个预报很好的提醒,它有利于本地能量的积蓄。

此次暴雨在短期预报的时效上需进一步提高,加强对冷空气及冷平流的分析,雷达资料的分析还需要加强,进一步做好强度和落区预报、预警。今后要更进一步加强天气分析,加强上

级指导预报的分析应用,进一步充实完善短期、短时天气的预报方法,密切监视,滚动服务,以达到为社会和地方经济建设服务的灵敏性、及时性。

10 小结

(1)在环流形势上北方有冷空气东移南压,高原东部有明显的暖湿气流输送,同时地面有相应的低值系统配合,有利于水汽输送与汇集。冷暖平流的交汇,使气流的上升运动明显,为强降水的出现创造了有利的条件。

(2)暴雨前冷空气活动弱,日平均气温大幅上升,暴雨前整个上旬最高气温都在 29℃ 以上,全市连续多日的日平均气温较高,多阵性天气,为产生强降水积累了能量;500 hPa 上庆阳市有较明显的正的总温度平流, K 指数、 SI 指数均有明显反映,暖湿能量的积累和不稳定层结的发展,与暴雨的产生有较好的对应关系。

(3)水汽输送和辐合,是暴雨过程形成的重要条件,在暴雨前 24 小时低空偏南气流水汽输送带明显,水汽通量增大,尤其是 700 hPa 的水汽通量散度负中心对水汽的汇集作用显得更为重要,在 700 hPa 相对湿度达到 80% 以上,表征暴雨过程酝酿形成的水汽条件指标。

(4)在动力条件上,从 700~200 hPa 有深厚的正涡度环流,低层 700 hPa 有较强的水平辐合(对应中尺度低压发展),高空 500 hPa 散度场由弱辐合向较强辐散转折变化;700~500 hPa 上升运动有 $\leq -20 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升运动中心配置,青藏高原东部边缘上升运动区域中心,是庆阳市出现暴雨天气的重要动力因子。

参 考 文 献

- 扈祥来,高前兆,牛最荣,等. 2004. 甘肃省暴雨初探. 干旱气象, 22(1):74-79.
- 李栋梁,刘德祥. 2000. 甘肃气候. 北京:气象出版社,1-9.
- 林纾,陆登荣,王毅荣,等. 2008. 1960 年代以来西北地区暴雨气候变化特征. 自然灾害学报, 17(3):16-21.
- 刘利民,德庆措姆,等. 2009. 甘肃河东一次区域性暴雨天气过程分析. 干旱气象, 27(3):271-275.
- 蒲金涌,苗具全,姚小英,等. 2006. 甘肃省暴雨洪水灾害分布特征研究. 灾害学, 21(1):27-31.
- 王陇,刘卫民,贾海源,等. 2005. 甘肃龙东南地区大到暴雨当时场环流气候特征分析. 干旱气象, 23(4):30-36.
- 赵庆云,狄潇泓,张铁军. 2005. “8·19”甘肃区域暴雨的特征分析及数值模拟. 干旱气象, 23(4):12-16.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2000. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社,194-198,320-343,375-381.

6月26日陇南暴雨强对流天气过程分析

张 锋

(陇南市气象局,武都 746000)

摘 要:2011年6月25—26日,宕昌县、礼县、成县境内部分乡镇遭受暴雨灾害,礼县雷坝乡累计降雨量达79.4 mm,受灾严重。本文通过环流形势、云图特征、物理量和层结曲线分析、数值预报模式和短时临近预报平台监测系统对此次过程做了监测分析,并在实际工作中做了预报预警,为当地政府和有关部门提供了尽量长的抢险时间。

关键词:强降水 成因分析 临近预报

1 引言

2011年6月25日夜开始到26日下午,陇南市普降中雨,部分地方达到大雨,其中宕昌县南河、礼县雷坝为暴雨,礼县雷坝乡3小时雨量就达到65.4 mm,过程累计降雨量达79.4 mm,截止26日15时,陇南有9个站次出现小时雨量大于20 mm的短历时强降水,32个站次出现小时雨量大于10 mm的降水,此次强降雨持续时间长、强度大,受灾严重,暴雨引发山洪、泥石流等地质灾害。据初步统计,礼县因暴雨洪涝灾害造成8乡镇76村6 254户3.21万人受灾。小麦、油菜、马铃薯、玉米、蚕豆等农作物受灾2 575公顷,成灾1 629公顷,绝收169公顷,经济林果受损800多株,洪水形成危房6户32间,水毁人饮工程2处,山洪冲毁通村道路12 km,便民桥3座,损坏河堤1 360 m,水毁渠道160 m,泥石流堵塞渠道250 m,此次灾害共造成直接经济损失988万元。

2 实况

25日下午,甘南临夏一带出现强对流天气,随着副高的西伸北抬,雨区被迫向东北移动,强对流云团底部向南延伸出的片状云系是造成宕昌北部强降水的主要原因。

25日夜,位于四川盆地中北部的强对流云团随着副高的西伸北抬被迫向东北移动,其北部分裂出来的带状云系在陇南北部发展,04时礼县出现雷电,礼县北部的湫山出现大于20 mm的短时强降水。

26日早上,08时700 hPa高空图陇南北部有低涡存在,风向切变很明显;位于陇南北部的带状对流云系在原地发展并东移,在陇南东北部产生强降水,其中陇南礼县雷坝、西和蒿林、徽县大桥等乡镇小时雨强大于20 mm。

26日下午,随着云系向东移出陇南市,陇南市自西向东降雨过程结束。

3 天气成因分析

3.1 高空形势：

从高空图(图1)上来看,500 hPa(a)主要影响系统为高原东部至西藏中部的低槽,在高原东部边缘有明显的西南气流向东北方向移动;蒙古经甘肃河西至青海中部有温度槽存在,温度槽落后于高度槽,又有冷平流。700 hPa(b)从四川盆地有明显的水汽输送,在甘肃省南部有低涡存在,中心位于甘南临夏一带,陇南市位于低涡底部西南气流控制区。

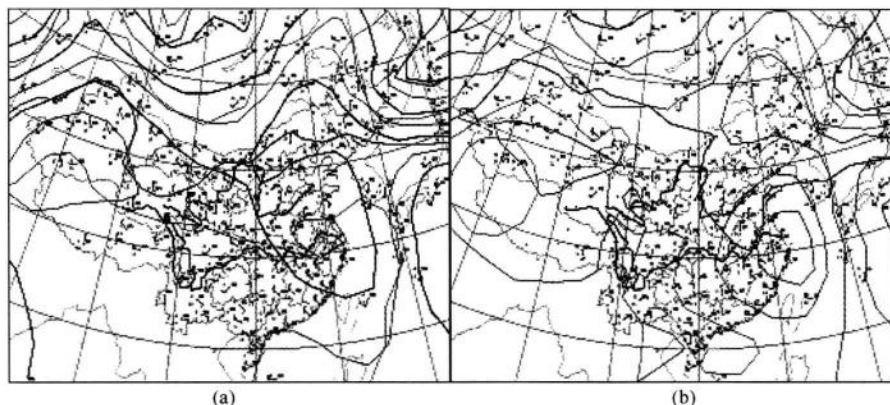


图1 2011年6月25日20时500 hPa(a)、700 hPa(b)高空图

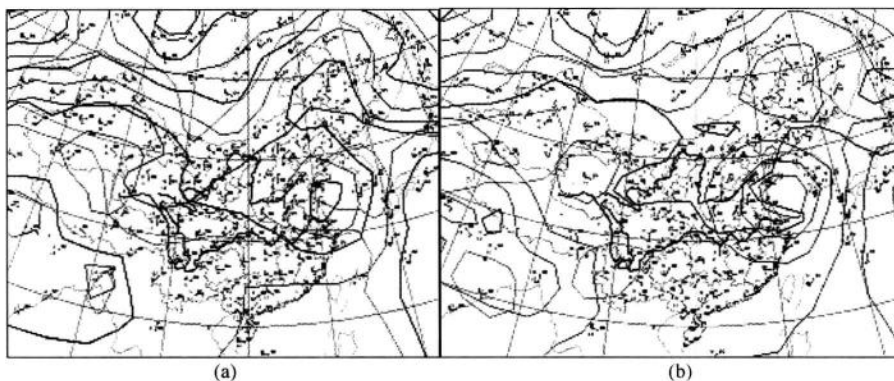


图2 2011年6月26日08时500 hPa(a)、700 hPa(b)高空图

从高空图(图2)上来看,500 hPa(a)上高原槽消散,衍生出四川盆地至西藏南部的南支槽;贝加尔湖以西低涡发展,贝加尔湖南部经内蒙古中部至兰州西宁一线有大槽生成,陇南市主要受此系统影响。700 hPa(b)中心位于甘南临夏一带的低涡继续维持,并向西南延伸出至四川盆地中部的切变线,陇南市主要受切变线东南部西南气流控制,水汽输送条件比较好。在四川东部到重庆的地方有一支明显的西南低空急流,最北端到陇南的宕昌、礼县一带,是一次明显的低值系统降水。

3.2 云图特征

云的发生发展与降水密切相关,云的状态如云状、云量、云底高度及云顶亮温等特性关系到降水的有无及强弱(谷晓平,2005)。

25日20时卫星云图(a)特征为:强对流云团主要在甘肃中部,在陇南境内为强对流云团南部片状云系,亮温较高,云系较低,对流发展不明显。

26日08时卫星云图(b)特征为:四川中部对流云团发展,其西北带状云系向北扩张发展,08时,此云系已经覆盖陇南市北部、东部几县。该区域内发生单点雨量为暴雨的可能性增大。

10时卫星云图(c)特征为:对流云团进一步增强,云系覆盖陇南全市,陇南全市均出现降水。陇南东北部礼县、西和、成县均出现较强降水。

12时卫星云图(d)特征为:对流云团向东北方向移动,主体已经移出陇南市,在陇南市东部还有对流云团后部云系存在,陇南全市主要降水已经结束,降水主要集中在陇南市东部的徽县、两当。

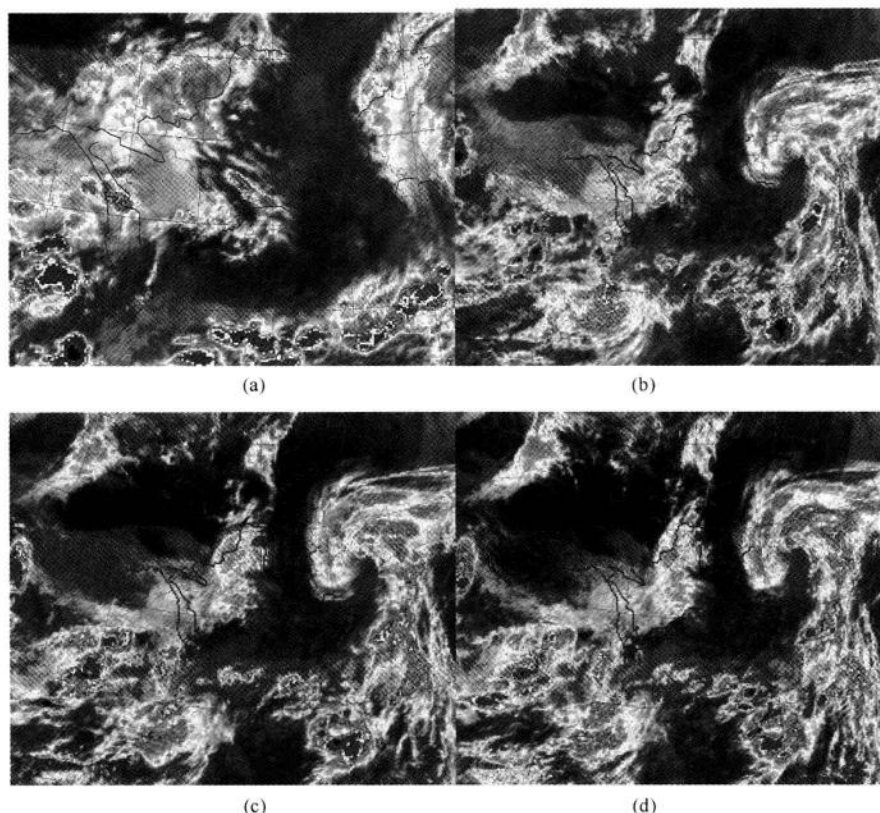


图3 6月25日20时(a)、26日08时(b)、10时(c)、12时(d)FY-2卫星云图

3.3 前期积累的热力因子及能量因子

6月25日08时高空图上,西北地区为暖高压脊控制,天气晴好。从23日白天开始,西北地区维持暖高压脊控制,陇南全市出现了晴好天气,陇南各县区最高温度均大于 30°C ,24日,武都、文县最高气温都出现大于 35°C ,个别乡镇超过 37°C 。24日礼县本站最高气温大于

33℃,礼县雷坝达 36℃,25 日 20 时以前,又有部分区域站达到 33℃以上。经过了 3~4 天的高温暴晒之后,陇南已经形成了地面高温的下垫面,地面最高气温和盛夏 7 月、8 月的最高气温持平,温度条件达到了降暴雨的条件,是强对流天气形成的一个重要因子。

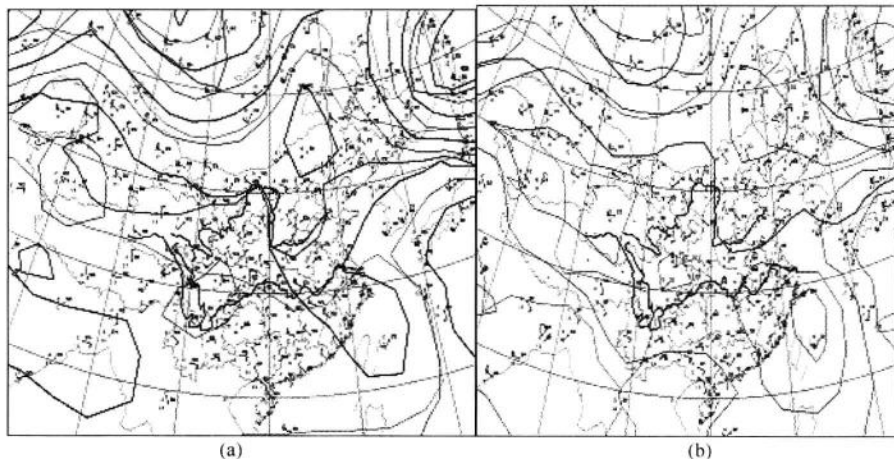


图 4 6 月 25 日 08 时 500 hPa(a)、700 hPa(b)高空环流形势

3.4 T - $\ln p$ 图

前面分析的高温条件促使武都本站的层结非常不稳定,25 日 20 时, T - $\ln p$ 图 5(a)显示,699 hPa 以上为正不稳定能量, K 值达 40℃,湿对流有效位能 $CAPE$ 值为 $342.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,这样大的 K 值也和盛夏三伏天的数值一样, $CAPE$ 值较大,但因低层湿度太差而未有降水,最大上升速度 W - $CAPE$ 为 $26.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,是最近一段时期最大的;到 25 日 19 时许,宕昌开始出现降水,23 时左右,宕昌南河出现强降水;到 26 日 02 时,强降水区域东移至礼县北部。26 日 04 时,礼县本站出现雷电天气,26 日 08 时, T - $\ln p$ 图 5(a) $CAPE$ 值为 $5.4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, W - $CAPE$ 为 $3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,虽然和 12 小时前相比,有较大幅度的下降,但仍然对流存在,天气发展趋势为区域性强对流天气模式。

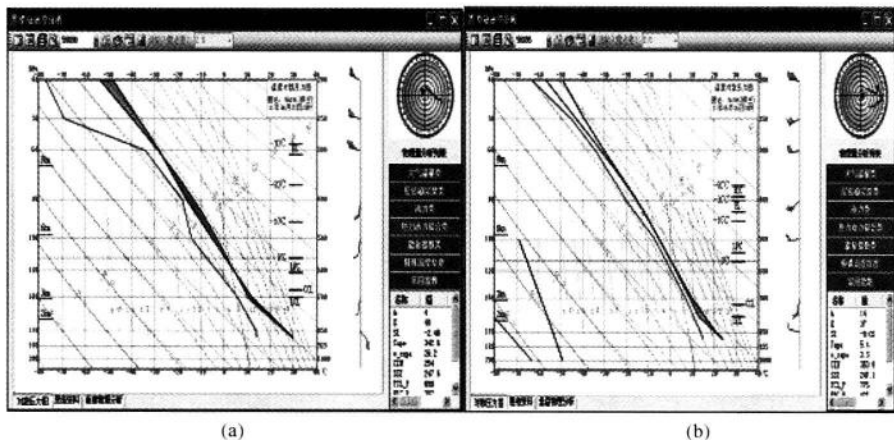


图 5 6 月 25 日 20 时(a)、26 日 08 时(b)武都探空站 T - $\ln P$ 图

3.5 物理量分析

3.5.1 散度场

6月25日20时700 hPa散度图6(a)显示,陇南市大部为正的散度区,是辐散下沉区,相对应的此时陇南市大部为晴天;宕昌偏北部在处于正负散度过渡区域,降雨逐渐开始出现。

6月26日08时700 hPa散度图6(b)显示,陇南市北部处在 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \sim -12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的负散度区,为强烈的辐合上升区,相对应的陇南市北部降雨降雨量较大,强度较强。

另外,此次过程散度垂直分布从对流层到高层呈现辐合—辐散的双重结构,这种结构非常有利于对流的发生发展(刘勇等,2006)。

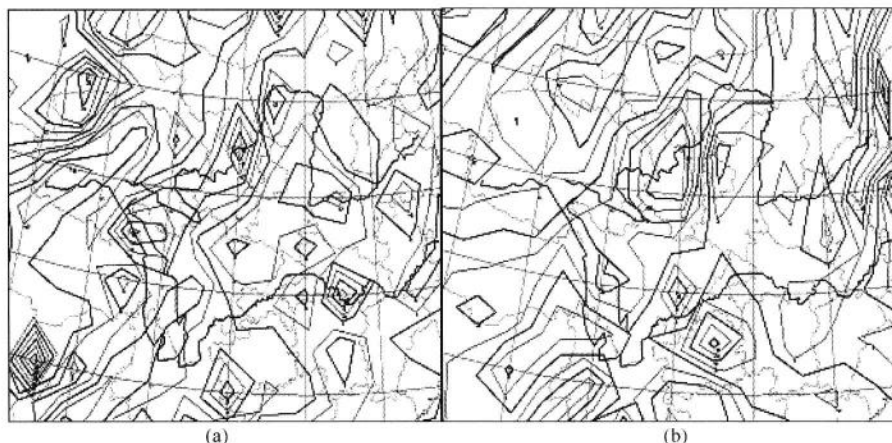


图6 6月25日20时(a)、26日08时(b)700 hPa散度分布图

3.5.2 涡度场

6月25日20时500 hPa涡度分布图7(a)显示,青海东部—兰州—甘肃南部—四川北部一带为正涡度区,陇南市除偏东几县外均处在这一正涡度区内。

6月26日08时500 hPa涡度分布图7(b)显示,正涡度区位置东移北伸,范围扩大,陇南市全市均被包括在这一正涡度区内。

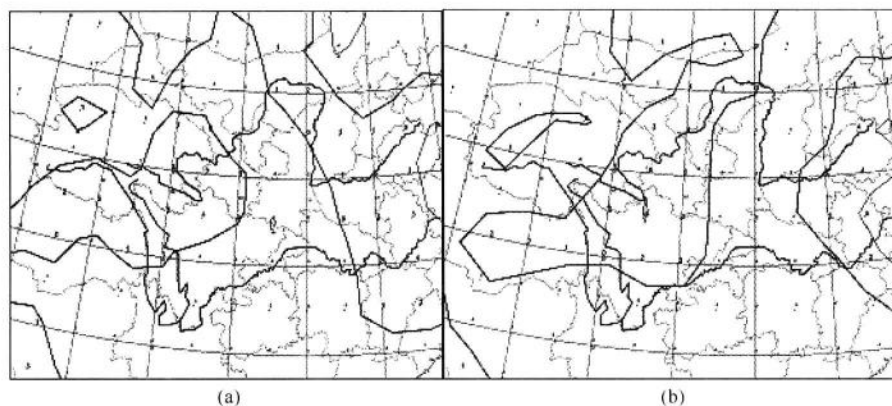


图7 6月25日20时(a)、26日08时(b)500 hPa涡度分布图

从两张图来看,陇南市 500 hPa 涡度由 0 上升至 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 涡度值不是太大,但对流的动力因子有所加强,上升运动明显。

3.5.3 垂直速度

6月25日20时700 hPa垂直速度分布图8(a)显示,在陇南北部有 $28 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正垂直中心,和下沉区相对应,6月26日08时700 hPa垂直速度分布图8(b)显示,北部为负值区,有上升运动。徽县、两当大部分地方处在正值区。

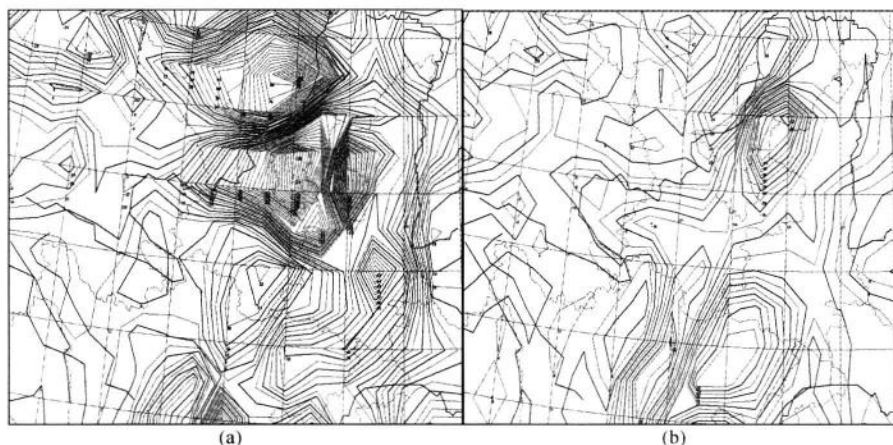


图8 6月25日20时(a)、26日08时(b)700 hPa垂直速度分布图

4 数值预报模式预报结果分析

对此次过程综合几家模式,预报过程在25日夜间开始,到26日结束,为小到中雨天气。实况检验表明:过程在25日夜间就开始,以强对流天气开始,中间有个别乡镇(礼县雷坝、宕昌南河)出现暴雨,有13个乡镇出现30 mm以上的降水,过程雨量西汉水流域到达30~79.4 mm之间。降水趋势报对;降水量级与陇南九县区本站雨量相比相差不是太大,但与乡镇雨量比较,量级较小,可能和缺少乡镇历史气象资料以及模式气候误差订正有关。

5 短临预警监测平台和SWAN系统预报情况分析

5.1 短临预警监测平台

6月26日10时15分卫星云图显示,陇南市大部分地方有对流云系,亮温为 -47°C 。降水云团的云顶亮温与地面降水强度的关系是非线性的,并且随季节的变化它们的关系又有明显变化;随着云顶亮温的降低,1 h降水量降水强度逐渐增大,出现强降水的几率也明显增多;浙江省内易出现2.0 mm/h(中雨)、7.0 mm/h(大雨)、15.0 mm/h(暴雨)强降水的云顶亮温指标分别为 -30°C 、 -36°C 、 -41°C (滕卫平等,2006)。短临预警监测平台系统云信息统计计算出,在线框内的这一区域内,预计1小时将有12 mm的降水。实况检验,该时次在云系覆盖

的区域内,大部分地方出现了 10 mm 左右的降水。

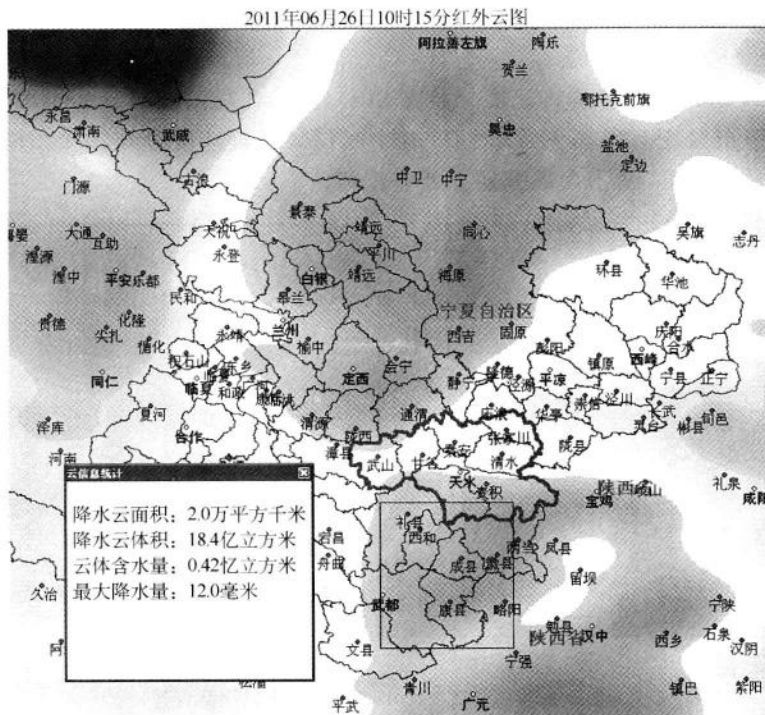


图9 6月26日10时15分短临系统卫星云图及云信息统计

5.2 SWAN 系统预报情况分析

SWAN 系统在监测中发挥了较好的作用,这次过程 SWAN 系统主要应用广元雷达资料,陇南部是雷达盲区,因此对于礼县降水无法监测,但是对于南部几县区降水监测效果还是比较明显。

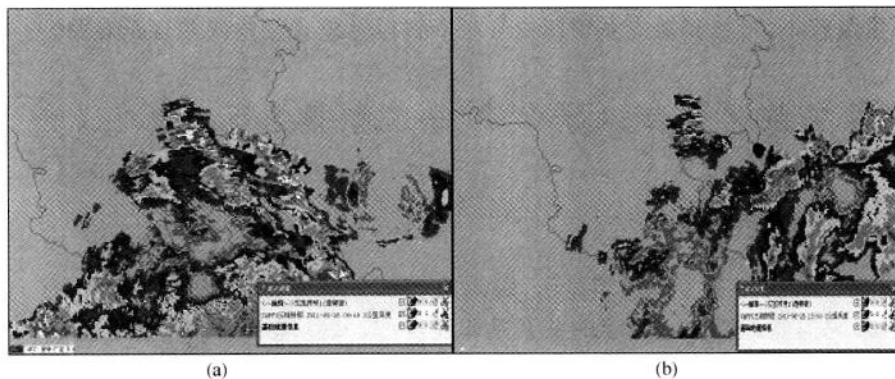


图10 6月26日09时48分(a)、15时00分(b)SWAN系统雷达资料-CAPPI三维拼图

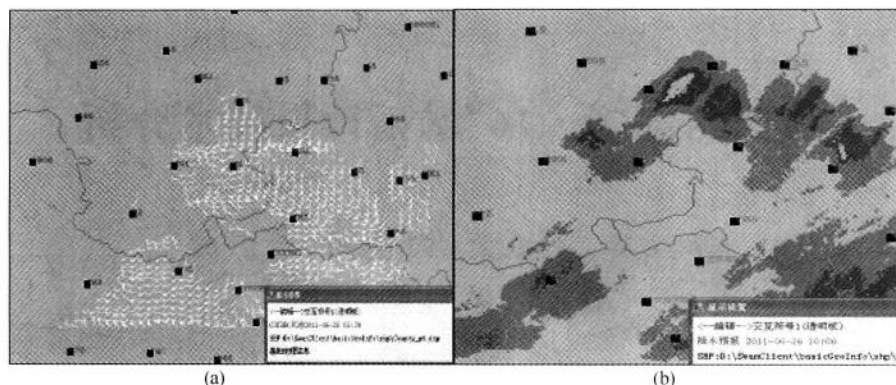


图 11 6月26日10时SWAN系雷达统资料—COTREC风场(a)、QPF降水预报(b)

图 10 CAPPI 三维拼图显示,成县、徽县有较强雷达回波。09:48 分 CAPPI 三维拼图 10(a)显示,成县有大范围强回波,成县中部到徽县西部雷达回波超过 35 dBz。到下午 15 时, CAPPI 三维拼图 10(b)显示,雷达回波强度减弱,范围缩小。COTREC 风场图 11(a)显示,在成县、徽县有较强的偏南气流,水汽输送充足。10 时 QPF 降雨预报图 11(b)显示,在成县中部至徽县中部有小时雨量大于 10 mm 的降水。实况是在早上 9—11 时,成县、徽县均出现小时雨量大于 10~30 mm 的强降水,到下午 15 时左右,主要降水结束。QPF 预报的降水范围内大部分雨量较为接近,预报准确率较高。

6 预报着眼点及不足

(1)数值预报多家模式预报陇南在 25 日夜间开始到 26 日有降水,初步预报有小到中雨。

(2)25 日夜间当宕昌南河出现小时雨量达到强降水时,判断局地降水将以短时强降水为主,雨量可能会达到暴雨,降雨从陇南市西北部开始,预计未来可能影响陇南市偏北偏西几县区,发暴雨预警。

(3)凌晨礼县出现雷电,此时宕昌主要降雨已经趋于结束,综合资料(SWAN 系统、短临平台、MICAPS 资料等)分析,主要雨区已经移至礼县一带,发布雷电预警、变更暴雨预警。

(4)陇南市偏北大部分地方是雷达盲区,短临预报中雷达资料缺少,影响短临预报的准确性,只能以云图、地面降水以及经验预报来修正。加之,此次降水以局地强降水为主,降水区域、范围、强度均不好把握。

参考文献

- 谷晓平,王长耀,王汶. 2005. GMS5 红外卫星云图参数化及在降水预测的应用[J]. 遥感学报, 9(4):459-467.
- 刘勇,王楠,李平. 2006. 急流次级环流对陕南一次特大暴雨过程的作用[J]. 干旱气象, 24(4):25-29.
- 滕卫平,杜惠良,胡波,俞善贤. 2006. 浙江省降水云系红外云图特征及其与降水量的关系[J]. 气象科技, 34(5):527-531.

河西西部“6·16”暴雨预报技术分析

李红英,高振荣,田庆明,于海跃

(酒泉市气象局,甘肃酒泉 735000)

摘要:利用常规观测资料、T639、卫星云图、地面区域站和 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的再分析等资料,对 2011 年 6 月 15—16 日发生在甘肃省酒泉市西部的一次罕见的暴雨过程,从环流背景、影响系统、中尺度分析、物理量特征和卫星云图进行分析,此次暴雨是在特定的环流形势下,由充足的水汽,高、低空各物理量场的合理配置及不稳定能量的释放共同作用的结果。本文揭示了这次暴雨天气过程的天气成因,为河西走廊大降水的预报提供了理论依据。

关键词:暴雨 水汽 物理量 分析

1 引言

暴雨是灾害性天气,且具有很强的局地性(扈祥来等,2004;白肇烨等,1988;陶诗言等,1980)。暴雨往往是在中尺度天气条件下形成的(朱乾根等,1983;薛秋芳等,1994)。河西走廊地处甘肃省西部,东西长约 1 200 多千米,该地区远离海洋,深居欧亚大陆腹地,降水量稀少,蒸发量大,是典型的极干旱地区。以前有许多学者都对西北地区暴雨做过研究(滕永昌等,2007;陈乾等,2008;兰晓波等,2007;郑仙照等,2006;贾宏元等,2005;道然,加帕依等,2007;纪晓玲等,2004;孙玉莲等,2007)。本文针对 2011 年 6 月 15 日午后到 16 日发生在河西走廊西部的肃北、阿克塞、敦煌市阳关镇及敦煌莫高窟等地的强降水过程做一探讨。这次罕见的强降水,过程降水量均达到暴雨,其中阿克塞过程降水量为 96.1 mm,敦煌南湖、渥哇池、莫高窟、南湖二墩等地区站降水量均在 50 mm 以上,敦煌南湖区域站降水最强时段在 16 日 00—03 时,16 日 01 时 1 小时降水量达 17.8 mm,肃北站 15 日 19 时—16 日 02 时,7 小时降水量达 37.1 mm。这次强降水主要集中在肃北、阿克塞、敦煌西部的阳关镇及敦煌莫高窟等地域。根据酒泉市政府提供的灾情数据显示,由于降水量和雨强较大,给上述地区交通、电力、水利、农、林、牧、渔业、旅游等部门造成的直接经济损失达 2.183 5 亿元。

2 环流背景演变、影响系统及中尺度分析

2.1 环流背景演变

6 月中旬初,欧亚中高纬度地区为“两槽一脊”型,主槽分别位于乌拉尔山和俄罗斯远东地区,但位置偏北(均在 55°N 以北);西北区上空受宽广的暖高压脊控制,随着暖气团势力的不断增强,南疆盆地及河西走廊中西部低层迅速增温,且 500 hPa 和 700 hPa 高空在 40°N 一线形成东风

层。与此同时,南疆盆地到河西中西部有地面热低压发展。此种环流形势对形成南疆盆地及河西中西部地区的高温天气极为有利。受此影响,河西中西部地区从12日开始出现高温晴热天气,其中14日敦煌最高气温达 38.9°C ,位于敦煌市西部的玉门关、雅丹、阳关镇渥洼池、二墩等区域站测得最高气温均超过 40°C 。15日08时500 hPa高空,冷空气已进入南疆盆地,并在 90°E 附近有明显的风场切变,同时在河西到河套地区形成一个“歪脖子”高压。15日20时500 hPa高空,“歪脖子”高压稳定少动,柴达木涡旋环流加强,敦煌、肃北、阿克塞就处在风场切变区的北侧,同时在新疆东部有高空槽存在,此种环流型与“北槽南涡”型环流有相似之处(见图1)。

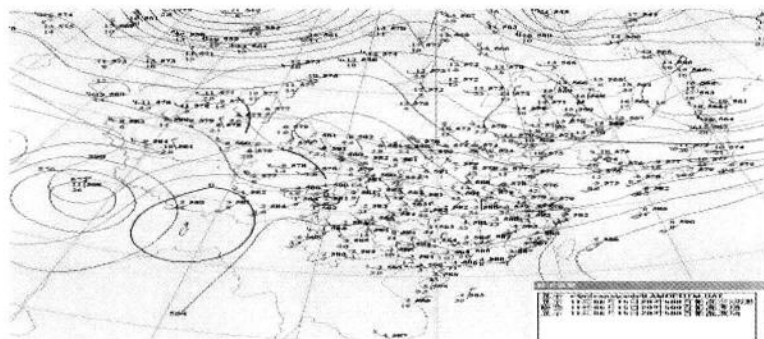


图1 2011年6月15日20时500 hPa高空形势场

2.2 影响系统

由于受500 hPa“歪脖子”高压的阻挡,使柴达木涡旋气流稳定少动,且与南疆上空的冷空气在敦煌附近相遇,维持了较长时间的辐合上升运动;同时由于涡旋北侧维持一支较强的东南风带,为肃北、敦煌等地上空提供了充沛的水汽条件,为形成该区域“6·16”暴雨天气创造了很好的物质基础。

2.3 中尺度天气分析

从15日20时地面上祁连山区存在辐合线,酒泉市南部及青海北部有降水,肃北站6小时降水23.3 mm。水汽条件:若羌、敦煌附近的比湿 $>10\text{ g/kg}$,500~250 hPa新疆中东部到酒泉市温露差均 $<5^{\circ}\text{C}$;南疆东部到酒泉市西部700 hPa的温度露点差为 7°C 以下,说明整层湿度条件较好。层结不稳定条件:南疆到酒泉市西部有一明显的温度槽,温差为 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。温度脊位于酒泉市中部到金昌、武威一线。抬升条件:500 hPa新疆中东部有一切变线,高原上柴达木盆地以西形成一低涡。南疆东部到高原以北上空有大片的负变高区,最大负变高中心位于敦煌为 -6 hPa (图2)。

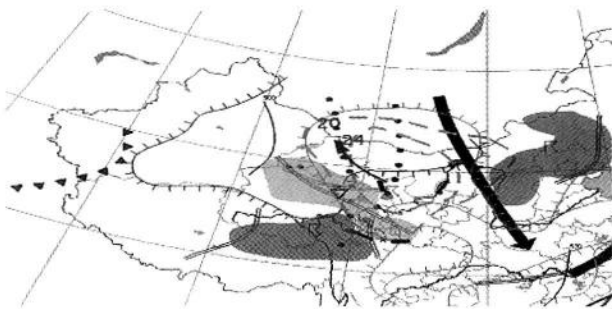


图2 2011年6月15日20时中尺度分析综合图

16日08时,500 hPa在酒泉市上空依然存在明显的负变高,温度脊位于酒泉市到拐子湖附近,90°—102°E的范围内温露差为2℃,空气接近饱和。敦煌CAPE值非常大。南疆到酒泉市西部有一切变线,高原与酒泉市存在西北—东南向切变。700 hPa东南急流明显增强(图3)。

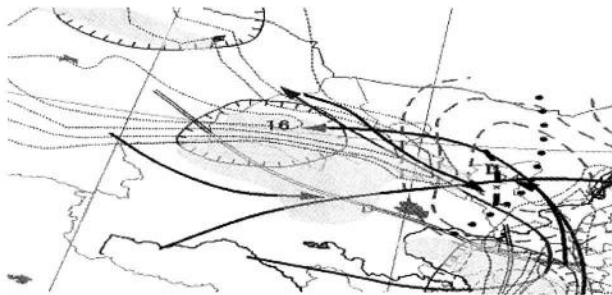


图3 2011年6月16日08时中尺度分析综合图

3 物理量诊断分析

若产生暴雨,大气中需含有大量的水汽。同时需要源源不断的水汽输送补充。从能量角度看,暴雨是能量不断释放的过程,要产生强降水,大气中必须具备一定的能量条件,这种不稳定能量的释放又触发了较强的上升运动,通过对假相当位温、水汽通量散度、垂直速度、垂直螺旋度、散度、涡度等物理量场的诊断分析,了解本次暴雨水汽、热力与动力等时空分布特征。

3.1 水汽条件

水汽是形成降水的必要条件,强降水的形成必须有水汽的输送和积累,水汽的垂直分布与温度的垂直分布一样,都是影响气层稳定度的重要原因。一般认为低层700 hPa的湿度与降水有直接的关系。通过对15日08时到16日20时的上下层水汽通量散度的分析,发现700 hPa水汽呈增加的趋势,15日20时在新疆东部到酒泉市西部和青海湖附近形成一 $-20 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 的中心辐合区(图4),而且在700 hPa以上在85°~95°E的区域内有一相对湿度大于80%的湿舌,到300 hPa此湿舌逐渐向东伸展,到16日02时400 hPa以上相对湿度为100%(图5),已达饱和状态,这与降水的主要时段相当吻合。这也说明在新疆东部到酒泉市西部存在水汽的汇聚与增加趋势,这种状态为强降水的产生提供了必要的水汽条件。

3.2 垂直速度场及垂直螺旋度

对15日14时至16日02时沿40°N的垂直速度剖面图分析表明,90°~100°E的区域内存在强烈的上升运动,整层为一致的上升气流,15日14时和20时上升气流在850~600 hPa最强(图6),中心值均达到了 $-45 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这对强降水的产生非常关键,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。

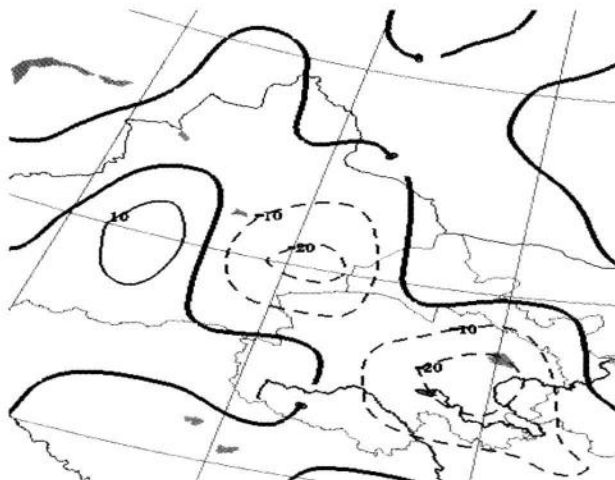


图 4 2011 年 6 月 15 日 20 时 700 hPa 水汽通量散度场

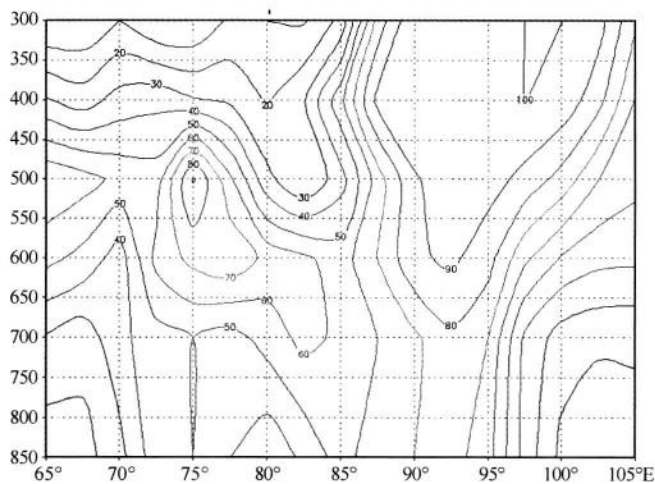
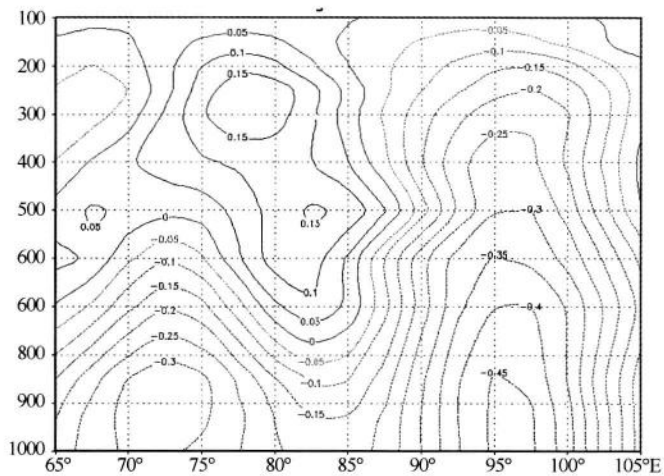
图 5 2011 年 6 月 16 日 02 时沿 40°N 的相对湿度剖面图

图 6 2011 年 6 月 15 日 20 时沿 40°N 的垂直速度剖面图

通过对 16 日 02 时垂直螺旋度(图 7)的计算发现,在强降水出现时段的 02 时沿着 95° 的垂直螺旋度剖面上, $38.5^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{N}$ 的区域内 700 hPa 以下为正值区,在其以上至 150 hPa 为负值区,螺旋度“上负下正”的结构非常明显,表示低层环境风有利于强对流系统和气旋性涡旋的发展,必然会产生强烈的辐合上升运动,为强降水的产生、加强创造了动力条件。

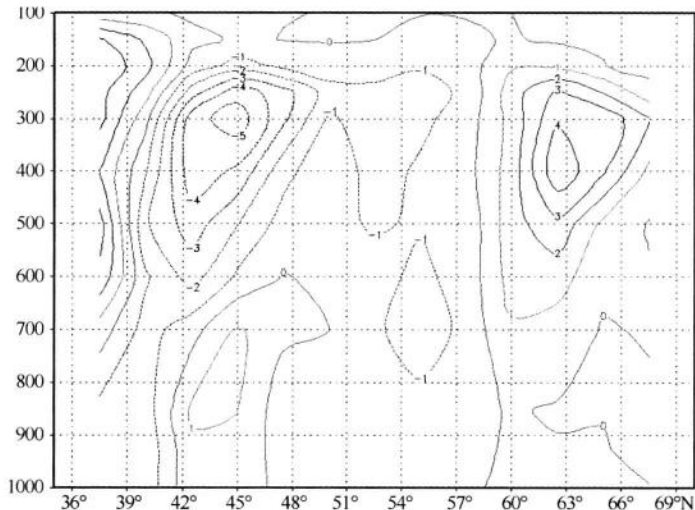


图 7 6 月 16 日 02 时沿着 95°E 的垂直螺旋度剖面

3.3 散度、涡度场

在 15 日 20 时的散度垂直分布场上 850~400 hPa 从高原到酒泉市西部是一深厚的辐合层,在 700 hPa 青海湖和茫崖北侧各有一辐合中心(图 8),而在 300 hPa 以上为辐散层,且在 200 hPa 上空高原到酒泉市西部存在明显的中心为 $30 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐散层,这种上层辐散、中下层辐合的垂直结构有利于地面系统的发展。

从涡度场看,从 15 日 14 时到 16 日 08 时,650 hPa 以上均为正涡度区,在 200 hPa 附近表现最强,其值为 $6 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,而 700 hPa 以下的负涡度区在降水强度最强的 15 日 20

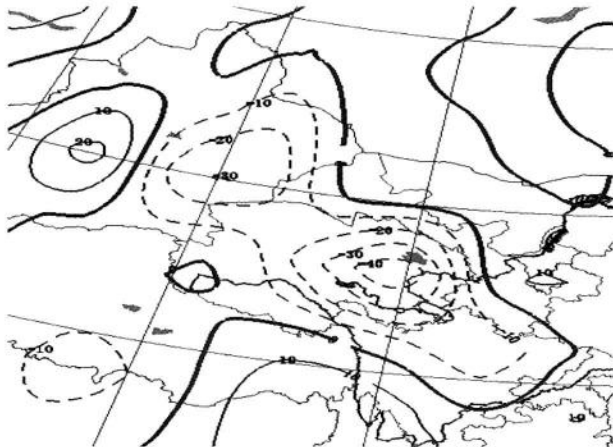


图 8 2011 年 6 月 15 日 20 时 700 hPa 散度场

时—16日02时明显增强(图9)。这种高层强烈辐散抽吸作用使低层辐合加强,触发了较强的上升运动,产生了强降水。

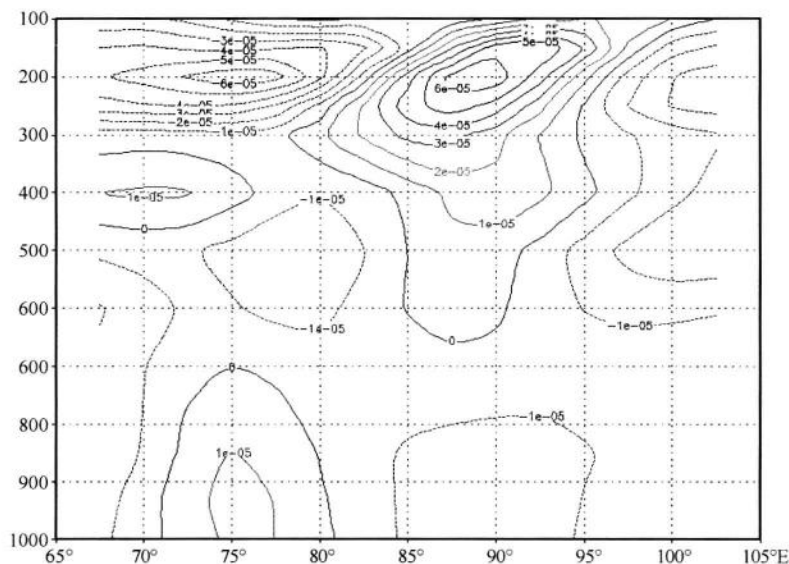


图9 2011年6月15日20时40°N的涡度场剖面图

3.4 能量及稳定度

假相当位温反映了大气中显热和潜热即能量分布的多少, θ_e 场的高值区代表了高能区,在15日20时的500 hPa假相当位温场上(图10),从高原南侧有一个中心为80℃的高能舌向北伸展到哈密附近,酒泉市西部有一个60℃的高能区和总温度高能区基本对应,敦煌附近假相当位温为63℃,这就有利于能量向北输送和积聚,强降水就产生在能量轴附近或北侧能量锋区内。

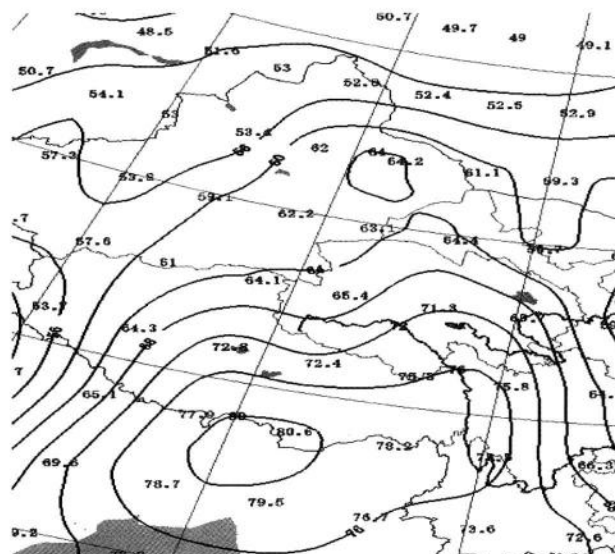


图10 2011年06月15日20时500 hPa假相当位温场

分析发现,在酒泉市西部区域从15日08时到20时 $\Delta\theta_{\infty(850-500)} < 0$,说明对流层中低层大气不稳定,为强降水的形成提供了不稳定的能量条件。用T639资料计算的肃北3 θ 图中(图11),主要降水时段假相当位温在500 hPa以下随高度增加而递减,说明中低空对流不稳定。饱和湿位温与假相当位温相差很小,如16日02时和05时两值相差都小于5℃,说明湿层深厚。

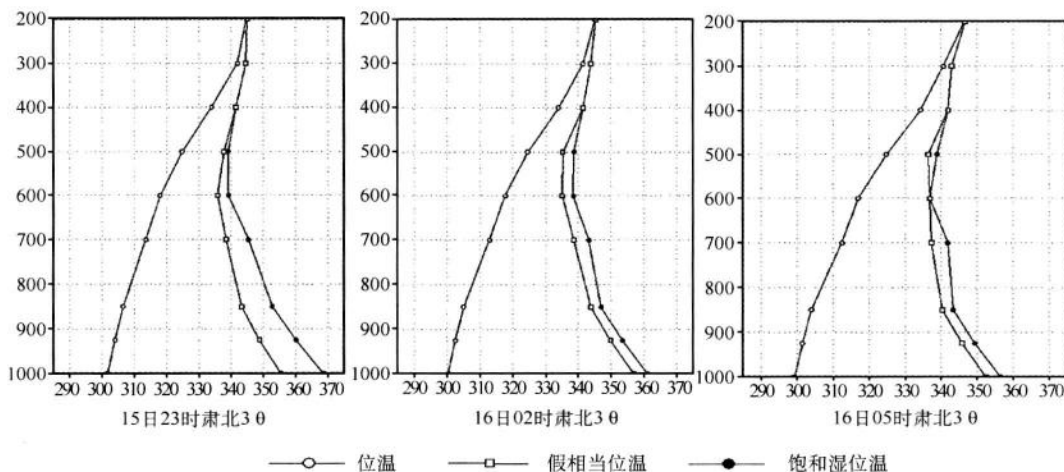


图11 2011年15日23时、16日02时、16日05时肃北3 θ 图

3.5 T-lnp 特征—各指数场特征演变趋势

3.5.1 SI 指数演变特征

从图12可以看出,6月15日08时至17日20时若羌(51777)、敦煌(52418)、酒泉(52533)等站SI指数场演变有明显特征:15日08时各站沙氏指数均大于0,20时若羌、酒泉沙氏指数 < 0 ,而敦煌站沙氏指数不降反升;16日08时若羌沙氏指数降至-1.27,而敦煌、酒泉两站SI均升至高点;20时若羌沙氏指数明显增大,而敦煌站沙氏指数降到-1.55,酒泉站沙氏指数亦明显减小。造成敦煌站沙氏指数低点落后于若羌站沙氏指数低点的主要原因是所处地理位置不同所致,而位于敦煌西南部的肃北、阿克塞及敦煌阳关镇等地域出现强降水的主要时段在15日20时—16日08时,说明若羌的不稳定区域在向东南方输送。

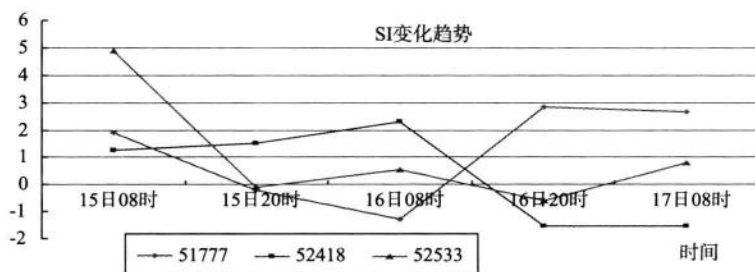


图12 6月15日08时—17日20时SI指数演变趋势图

3.5.2 K 指数演变特征

由图13可以看出,15日08时—20时,若羌和敦煌站K指数均呈增大趋势,随之若羌K

指数呈现出线性下降,而敦煌 K 指数则表现为线性上升趋势,到 16 日 20 时 K 指数达峰值,随之逐渐减小。敦煌 K 指数的不断增大,表明大气层结越不稳定。

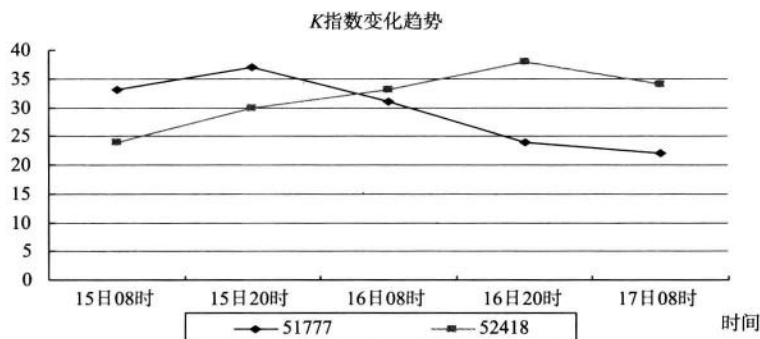


图 13 6 月 15 日 08 时—17 日 20 时 K 指数演变趋势图

3.5.3 A 指数演变特征

从图 14 可以清楚地看出:敦煌站 A 指数演变趋势与 K 指数演变趋势基本一致,表明了对流层下半部大气层的热力饱和程度逐渐增大,更加有利于大气层结不稳定能量的积累,为这次强降水的形成提供了较好的动力条件。

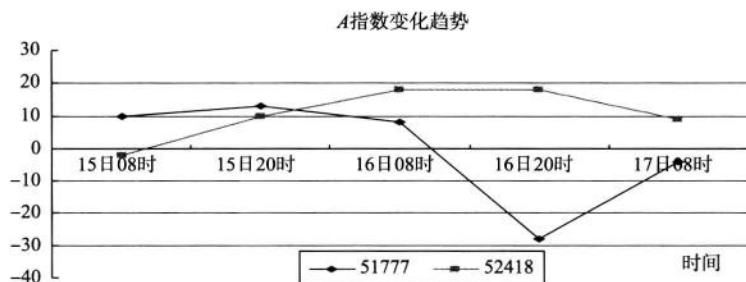


图 14 6 月 15 日 08 时—17 日 20 时 A 指数演变趋势图

3.5.4 CAPE 指数演变特征

图 15 表明,若羌站 CAPE 指数在 15 日 20 时和 16 日 20 时为两个峰值时段,其中 15 日 20 时 CAPE 值达 1327.6;16 日 20 时为 797。敦煌站 CAPE 指数从 15 日 20 时开始呈明显的增大趋势,16 日 08 时为 92.8,到 20 时迅速增到 400.1,说明敦煌 CAPE 在逐渐增大的同时,若

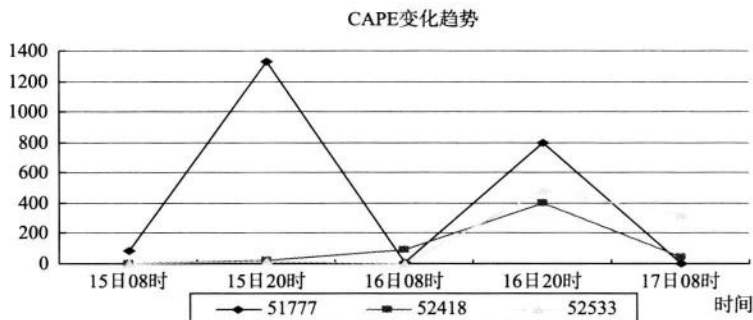


图 15 6 月 15 日 08 时—17 日 20 时 CAPE 指数演变趋势图

羌地区较强的对流有效位能亦有向肃北、阿克塞及敦煌输送的可能,为本区域强降水的形成提供了强大的能量支持。

4 数值预报能力检验

由图 16 可以看出:14 日 20 时 EC 数值预报 15 日 20 时 500 hPa 形势场,与图 1(15 日 20 时 500 hPa 高空实况)形势场完全一致,在形势场预报图上表现为“东高西低”型,位于柴达木的气旋性涡旋及新疆东部的低槽等影响系统位置及强度亦相同,16 日 08 时和 20 时 500 hPa 形势场预报亦和当时场相符(图略),说明 EC 500 hPa 数值预报有较高的可信度,为预报这次强降水提供了可靠依据。

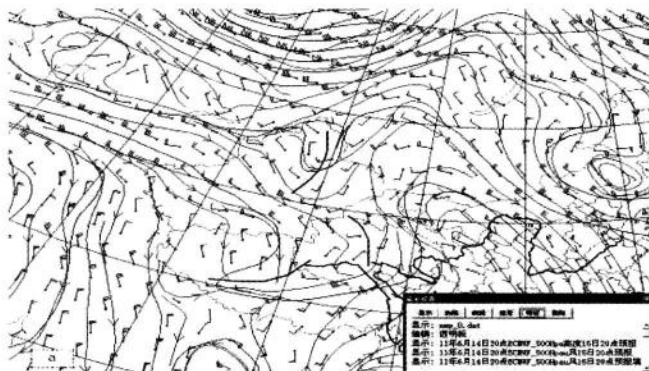


图 16 2011 年 6 月 14 日 20 时 EC 预报 15 日 20 时 500 hPa 综合场

图 17 是 6 月 14 日 20 时 EC 预报 15 日 20 时 700 hPa 相对湿度的形势场。从图中可以看出:高湿区位于南疆中东部及敦煌以西地区;另一高湿区位于青海中部,与高湿区相对应的地域均有降水出现。而受高压脊控制下的河套以西及玉门以东地区则为低湿区,无降水出现。图 18 是 EC15 日 20 时 700 hPa 相对湿度当时场,高湿区与肃北、阿克塞、敦煌降水区相对应,说明 EC 700 hPa 相对湿度场对降水预报有很强的指示意义。

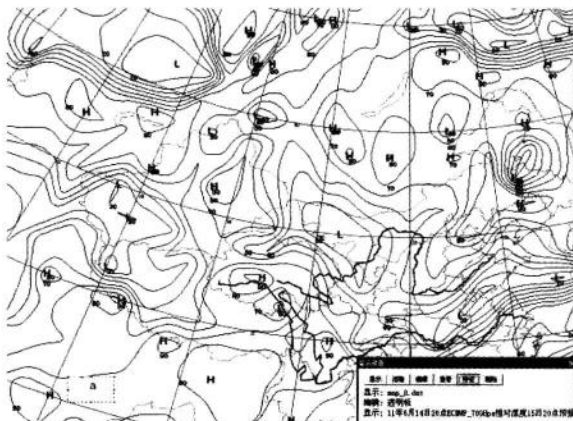


图 17 2011 年 6 月 14 日 20 时 EC 预报 15 日 20 时 700 hPa 相对湿度场

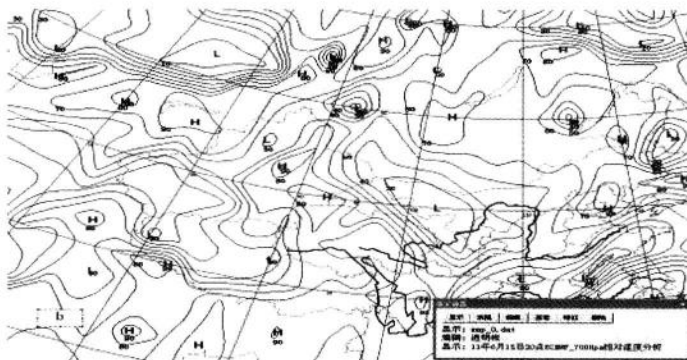


图 18 2011 年 6 月 15 日 20 时 EC 700 hPa 相对湿度当时场

5 卫星云图

根据 15 日 20 时—16 日 10 时的 TY-2E 红外云图演变显示:15 日 20 时,在柴达木西北侧有一较强的成熟的中尺度气旋性涡旋云系,在 20 时云图中(图 19a)低涡中心在 A 处,B 处为不断生成的活动的对流单体,肃北县周围正处在此对流单体的影响之下,19—21 时两小时降水 11.0 mm,此单体随着涡旋运动向西北方向缓慢推进,在 20—01 时对流单体表现得非常

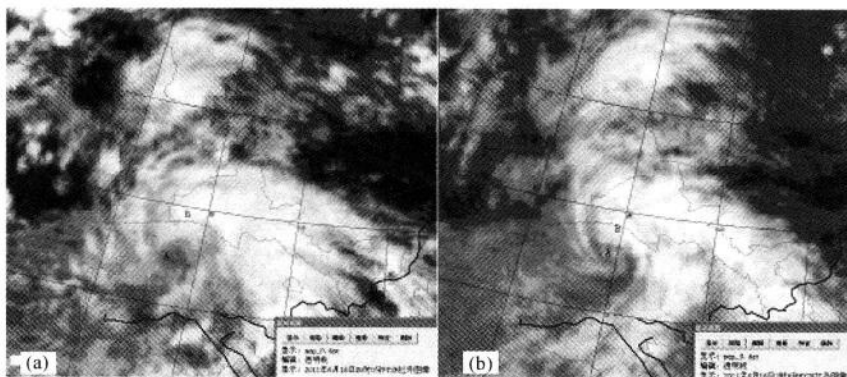


图 19 2011 年 6 月 15 日 20 时云图(a)和 16 日 02 时云图(b)

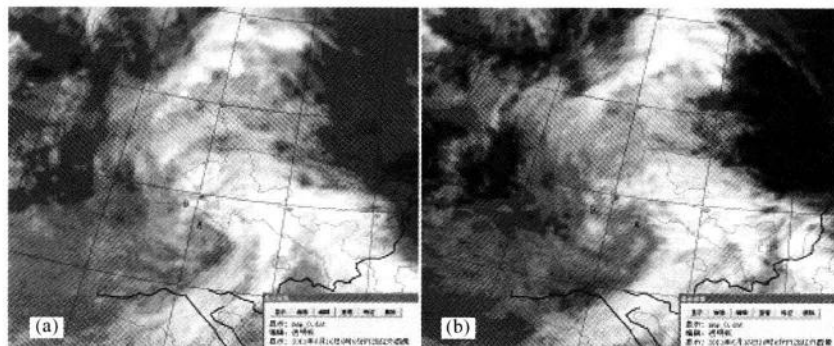


图 20 2011 年 6 月 16 日 06 时云图(a)和 16 日 10 时云图(b)

强盛。02 时(图 19b),B 处又有新的对流单体生成。06 时(图 20a)低涡中心 A 已到 95°E 以东附近,涡旋云系趋于减弱,B 处的对流单体处于衰亡阶段,10 时(图 20b)降水云系已明显减弱东移,B 处的对流单体处于消散阶段,降水随之趋于结束。

6 小结

(1)造成这次强降水的高空环流形势与“北槽南涡”型流场有相似之处,肃北、阿克塞、敦煌正好处于气旋式环流中心附近,500 hPa“东高西低”型环流形势,使西方冷空气不能快速东移出我区,在酒泉西部持续了较长时间的气流辐合上升运动,且高原东北侧维持较强的东南风,提供了充沛的水汽条件,是造成这次强降水天气过程的主要原因。

(2)数值预报形势场及湿度场可信度高,为这次强降水预报提供了主要依据。对这次强降水过程,酒泉气象台在降水时段、落区都较为准确,但对降水量级预报明显偏小,特别是对极干旱区的敦煌阳关镇、莫高窟等地域出现暴雨缺少预报指标及经验。

(3)区域站降水监测资料,为这次强降水天气过程预报服务提供了更加翔实的数据。

(4)酒泉台研发的“MOS、ECmos、PP、svm”等方法在本次区域性降水预报中有较好的预报能力。

(5)酒泉台对中小尺度天气的预报能力较弱,缺乏较好的预报指标。通过对这次暴雨预报技术分析,从环流背景及影响系统、中尺度天气分析、物理量场、大气稳定度及卫星云图的演变、对区域站资料实时监控应用,得出产生强降水天气的成因,总结了预报工作中的经验和教训,为今后预报强降水天气有重要意义。

参考文献

- 白肇烨,许国昌,孙学筠,等. 1988. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社,230-240.
- 陈乾,陈添宇,肖宏斌. 2008. 祁连山夏季各类降水过程的典型个例分析[J]. 干旱气象, 26(3):1-7.
- 道然,加帕依,李如琦. 2007. 新疆东部地区大雨的分析[J]. 气象, 33(2):65-69.
- 扈祥来,高前兆,牛最荣,等. 2004. 甘肃省暴雨初探[J]. 干旱气象, 22(1):74-79.
- 纪晓玲,贾宏元,沈跃琴. 2004. 2002 年 6 月 7—8 日宁夏区域性暴雨天气过程分析[J]. 干旱气象, 22(2):17-22.
- 贾宏元,穆建华,孔维娜. 2005. 宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析[J]. 干旱气象, 23(2):25-28.
- 兰晓波,杨晓玲,李岩瑛. 2007. 民勤一次大到暴雨天气诊断分析[J]. 干旱气象, 25(增刊):42-46.
- 孙玉莲,任余龙,马新荣. 2007. 甘肃中东部初夏一次暴雨天气过程的动力诊断[J]. 干旱气象, 25(4):42-43.
- 陶诗言等. 1980. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,225.
- 滕永昌,渠永兴,王坚,等. 2007. 河西走廊一次突发性暴雨天气的诊断分析[J]. 干旱气象, 25(3):66-71.
- 薛秋芳,王建中. 1994. 一次强降水天气过程的中尺度分析[J]. 气象, 20(10):21-25.
- 郑仙照,寿绍文,沈新勇,等. 2006. 一次暴雨天气过程的物理量分析[J]. 气象, 33(2):103-105.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 1983. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,221,233,265.