

# 甘肃中东部初夏一次暴雨天气过程的动力诊断

孙玉莲<sup>1</sup>, 任余龙<sup>1</sup>, 马新荣<sup>2</sup>

(1. 甘肃省临夏州气象局, 甘肃 临夏 731100; 2. 甘肃省甘南州气象局, 甘肃 合作 747000)

**摘要:**利用 Micaps 常规和 ECWMPF 资料, 对造成 2004 年 5 月 28 ~ 29 日甘肃省中东部初夏区域性暴雨过程的高、低空急流及锋区等天气系统进行分析, 结果表明: (1) 500 hPa 西风带急流轴 ( $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 从乌拉尔山中底部向巴尔喀什湖移动, 其分裂的短波槽和冷空气沿急流底部向甘肃河西至青海省中部发展, 为这次大降水的形成和维持提供了能量; (2) 在副热带高压快速南压东退中, 高压边缘的西南暖湿气流为此次降水过程提供了充沛的水汽来源; (3) 垂直速度、水汽通量、水汽通量散度等物理量对此次大 (暴) 雨有很好的指示意义。从能量场上, 总温度平流和差动平流场对这次降水过程也有重要的贡献。

**关键词:**甘肃中东部; 暴雨; 西风带急流轴

**中图分类号:** P458.1<sup>+</sup>21.1

**文献标识码:** A

## 引言

甘肃省位于 3 大高原的交汇地带, 降水受西风带环流和东亚夏季风系统影响, 雨季主要集中在 6 ~ 9 月<sup>[1]</sup>。向来以干旱少雨著称, 年平均暴雨日数少于 1 次<sup>[2]</sup>。由于处于少雨地区, 生产和生活设施防雨能力差, 所以每年一旦出现暴雨天气给当地人民都会造成严重的经济损失甚至人员伤亡。

暴雨是一种复杂的天气现象, 是各种天气尺度系统相互作用的产物, 而它经常又是由中、小尺度天气系统直接组织和产生的<sup>[3]</sup>。由于暴雨天气生命史短, 加之观测资料时空分辨率低等原因, 一般很难捕捉到这些强对流天气的发生、发展, 给准确预报造成困难。西北地区暴雨都出现在一定的大尺度环流形势下, 通常形成冷、暖空气不断在西北地区某个地方交汇, 并伴有中尺度系统发展。出现强烈的水汽和不稳定能量输入, 它们是形成暴雨的必要条件<sup>[4]</sup>, 同时持续的上升运动为暴雨的产生提供了动力条件。本文对发生在 2004 年 5 月 28 日至 29 日的大 (暴) 雨天气过程, 从其发生发展所需的水汽、动力等基本条件入手, 对垂直速度、水汽通量、水汽通量散度、总温度平流及差动平流等物理量进行诊断分析, 以揭示这次大 (暴) 雨的发生发展机制及物理量场和降水落区之间的关系。

## 1 天气实况及影响系统

2004 年 5 月 28 日夜至 29 日夜, 甘肃中部兰州、临夏、定西等地出现大 (暴) 雨。实况如图 1 所示, 从图中可以看出, 降水中心有 2 个, 1 个在临夏的东乡、和政, 另 1 个在定西的渭源、陇西、漳县一带, 其中陇西降水量为 55.1 mm。

此次过程是一次明显的春季环流向夏季环流的调整过程。5 月 27 日 08 时 (北京时, 下同) 500 hPa 图上乌拉尔山高压脊发展, 从蒙古大槽分裂的低槽移动到巴尔喀什湖至里海一线, 副热带高压加强, 高空锋区明显向东南方向移动。28 日 08 时副热带高压向东南退缩 4 个纬度, 青藏高原上, 黑河至都兰西南气流发展明显, 西风带急流轴在河西北部至乌鞘岭一线, 高纬度地区的动能明显向中、低纬度下传。28 日 20 时兰州至青海湖有一切变线, 700 hPa 武都至汉中之间的西南急流向 500 hPa 横切变处叠加, 深厚的西南暖湿气流为 28 日夜间的强降水提供了充沛的水汽条件。

分析发现, 500 hPa 强西风带 ( $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和暴雨关系密切。27 日 08 时 500 hPa 强西风带从俄罗斯鄂木斯克分为 2 支, 左侧在巴尔喀什湖地区, 和这次暴雨关系密切; 右侧在贝加尔湖, 向我国东北方向发展; 28 日 08 时急流带在甘肃南部至河套一线,

收稿日期: 2007 - 08 - 19; 改回日期: 2007 - 10 - 23

基金项目: 甘肃省重点基金项目资助

作者简介: 孙玉莲 (1967 -), 女, 北京大兴人, 工程师, 主要从事短期天气预报工作。

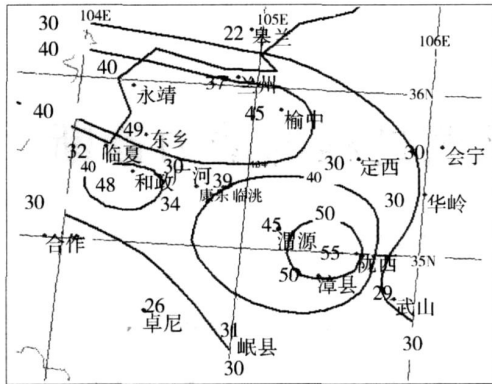


图 1 2004年 5月 28日夜间至 29日夜间降水量实况  
Fig 1 The precipitation distribution during May 28 - 29, 2004 in the middle - east part of Gansu

中心强度为  $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 20时河套北部沿黄河一带的急流加强到  $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 高空锋区发展并位于急流右下侧, 在都兰至武都形成一低压槽, 低槽左侧的风速小, 右侧的风速大, 表明在强降水出现前, 下沉运动弱, 上升运动强。这种流场特征, 为强降水提供了有力的水汽补充。从 500 hPa 高空急流发展演变, 高空锋区的配合及其强、弱位置等综合分析, 这次降水过程是春末夏初高纬度动能和低纬度的热能在中纬度地区的一次能量交换形势。

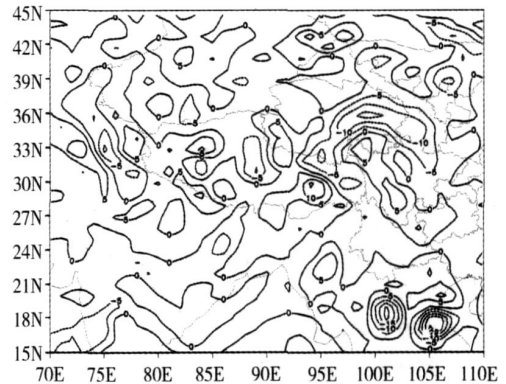
地面降水特点表明, 此次过程是一次“先兆对流”的暴雨过程。这是由于过程前期高层有长时间的干暖盖, 中层对流性不稳定发展, 低层有暖湿稳定层。环流调整时, 对流性不稳定增大。在大(暴)雨前 12 h, 低层东风与中层西南风之间出现温暖盖, 当时已有积云和短时小阵雨, 但积云发展受到抑制, 雨量不大。28日 20时青海以东和甘肃中部对流云发展旺盛, 并向甘肃中部的临夏、兰州、定西地区发展加强, 同时出现大范围的阵性降水, 雨后地面湿度猛升, 不稳定能量迅速增大。

## 2 水汽来源

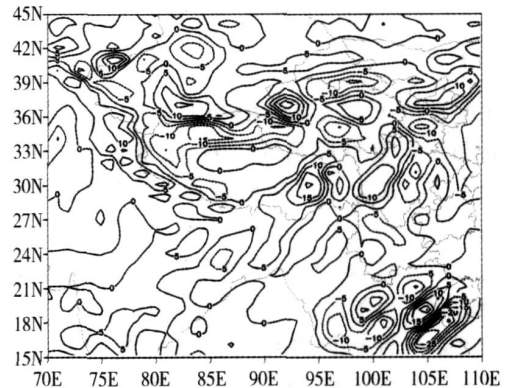
分析这次暴雨过程的水汽输送, 对研究这次暴雨过程的成因有重要意义<sup>[5]</sup>。中空 500 hPa 有一支西南气流输送带, 从孟加拉湾经云贵高原至四川西北部向北抬升, 西南强风带中心风速  $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 低层 700 hPa 有支偏南水汽输送带从南海经云贵高原中部和四川盆地西部沿高原东北侧通道北上, 其南支低空气流风速  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 低空急流的建立和维持有利于低层的水汽输送<sup>[6]</sup>。它们在川西北高原汇合形成深厚的湿层 ( $T - T_d > 2.0$ ) 北上至甘肃中部至青海东部, 为大到暴雨的形成, 提供了充沛的

水汽和不稳定条件。高原东北侧中尺度低涡切变是直接影响系统, 诊断分析表明, 该系统的正涡度中心(图略)与强降水中心有明显的对应关系, 正涡度与上升运动同时增大。

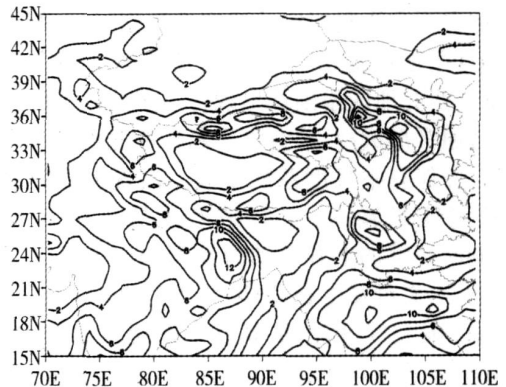
28日 08时 500 hPa 水汽通量散度图上(图 2a),  $30^\circ \sim 37^\circ \text{N}, 95^\circ \sim 105^\circ \text{E}$  处有  $-10 \times 10^8 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$  的中心, 呈东西走向, 此水汽辐合中



(a) 5月28日08时500 hPa水汽通量散度



(b) 5月28日20时500 hPa水汽通量散度



(c) 5月28日20时700 hPa水汽通量

图 2 2004年 5月 28日 08时和 20时 500 hPa 水汽通量散度和 700 hPa水汽通量  
Fig 2 The 500 hPa divergence of vapour flux at 08:00 (a) and 20:00 (b), and the 700 hPa vapour flux at 20:00 (c) on May 28, 2004

心正好位于甘肃中部大(暴)雨中心及西侧,到28日20时(图2b), $27^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ , $103^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 处为一东北西南向水汽辐合区,保证了降水区的水汽供应。

28日08时700 hPa水汽通量散度(图略)表明:高原上( $30^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ )形成1条东西向的水汽输送带,在 $33^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ , $95^{\circ}\sim 103^{\circ}\text{E}$ 出现大值中心,达 $-3\times 10^8\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,与500 hPa上水汽分布相对应;到28日20时,此水汽输送带进一步加宽、加强,大值区进一步向东向北扩展,为 $-4\times 10^8\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。

分析28日20时700 hPa水汽通量(图2c),大值中心出现在 $33^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ , $99^{\circ}\sim 106^{\circ}\text{E}$ ,达 $10\times 10^8\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。

水汽通量中心和水汽通量散度中心基本重叠,但水汽通量中心对大(暴)雨的落区更有很好的指示意义。

### 3 垂直速度

垂直运动是导致云、降水等天气现象的重要动

力条件<sup>[7]</sup>。大气中发生的凝结和降水过程的热量<sup>[8]</sup>和动量的垂直输送以及大气中位能与动能之间的相互转换都与垂直运动有密切关系,因而垂直运动常被作为天气系统生成和发展的一个重要指标<sup>[8]</sup>。在本次降水过程中,垂直运动有很好的指示作用。在28日08时以 $103^{\circ}\text{E}$ 为剖面的垂直速度图上(图3a),在 $33^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ ,从850~650 hPa, $\omega > 0$ ,对应北方较干冷空气下沉入侵暖湿空气底部,低层下沉有抑制对流发展的作用,而650~300 hPa为 $\omega < 0$ 处于上升运动,暖湿输送带上的高能空气得到抬升。到28日20时(图3b), $34^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ ,850~230 hPa为整层的上升气流区,在 $36^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ ,850~600 hPa为最大值区 $-10\times 10\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,550~330 hPa之间又有一大值区 $-5\times 10\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,这正与降水区对应。上升运动使暖湿空气辐合抬升,凝结降水,释放潜热,加热大气,进而使垂直运动增幅,低压进一步加强,又使辐合上升增强,形成正反馈,降水的强度增大而形成暴雨。

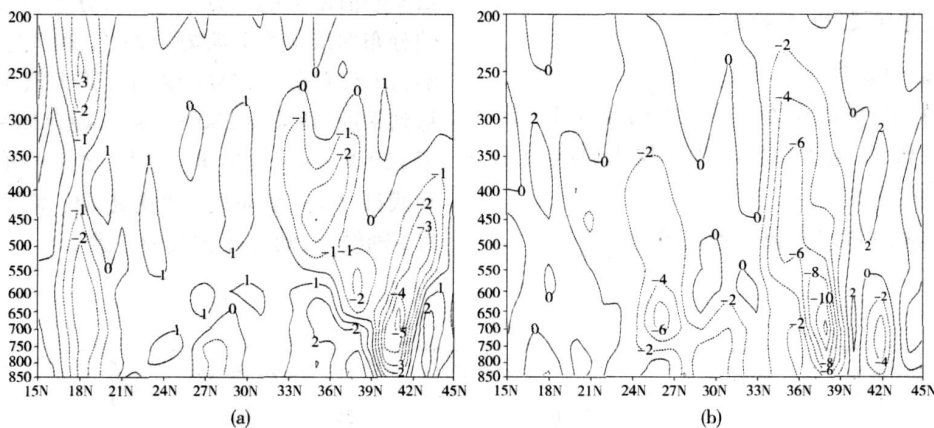


图3 2004年5月28日08时(a)和20时(b)850~200 hPa垂直速度

Fig 3 The vertical velocity at 08:00 (a) and 20:00 (b) at the level of 850 - 200 hPa on May 28, 2004

### 4 能量场及差动平流特征

研究表明<sup>[9]</sup>,大气运动状态的改变一般是由总能量的改变引起的。由于总能量计算难度较大,这里引入与总能量相对应的总温度。总温度是单位质量空气的总能量所相当的温度。

28日08时(图4a)饱和总温度分布呈纬向分

布,南北梯度较大,形成能量锋,能量锋位于甘肃中部,能量场的分布与实际降水区域相对应。20时(图4b),能量场有新的变化,能量锋进一步加强,锋区含能量更高,并释放能量导致降水加剧,且降水量中心区以能量锋轴线为主向两侧递减,与实际降水分布情况完全相符,可见,这次降水能量锋的贡献是十分明显的。

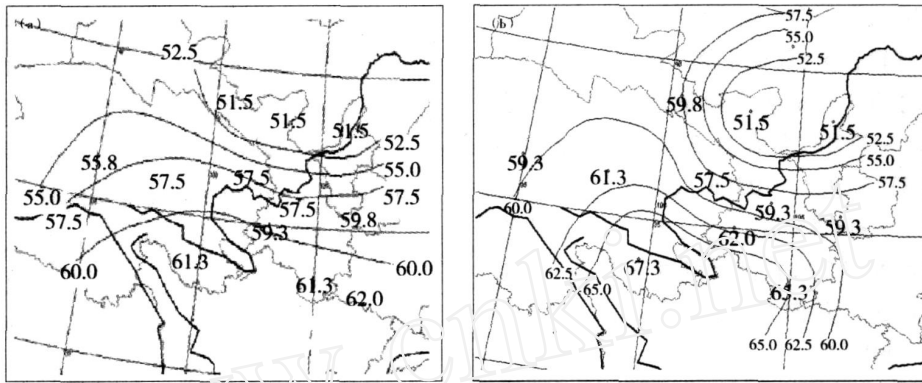


图 4 2004年 5月 28日 08时和 20时饱和总温度

Fig 4 The total temperature field at 08:00 (a) and 20:00 (b) on May 28, 2004

差动平流是指大气中各层气流的走向和强度不同,而引起的不同平流。在实际工作中常用温度差动平流。统计表明,对流天气多发生在下层暖平流强,向上逐渐减弱,到中上层变为冷平流的地方。温度平流 ( $A = -V \cdot \nabla T$ ) 随高度变化为:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\partial V}{\partial z} \cdot \nabla T - V \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\nabla T)$$

而上下层温度平流之差,可近似写为:

$$A = -(V_{500} - V_{850}) \cdot \nabla T_{700} - V_{700} \cdot \nabla (T_{500} - T_{850})$$

850~500 hPa的温度差动平流大的地方和未来 24 h暴雨区一致,下层大风区和中上层大风区交汇的地方容易发生大雨。

从 28日 08时各层次数据得出差动平流  $A$  的

分布 (图 5a)。08时兰州和武都的  $A$  明显高于周围地区,  $A$  最大值出现在兰州,形成闭合中心,  $A$  分布轴线位于 105°E 西侧,呈南北走向。兰州的  $A$  比合作的高出  $66 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ ,比西宁高出  $74 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 。实际降水中心在 105°E 西侧,即东乡、和政、陇西、漳县、渭源、榆中等地出现最大降水,且  $A$  分布轴线西侧降水普遍大于东面降水,降水主要出现在  $A$  差值最大的左方。  $A$  的分布特征与实际降水的分布对应关系非常好。28日 20时 (图 5b),各站的  $A$  都有很大程度的增加,其大值中心从兰州东移到平凉,增幅达  $200 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而合作和武都各增加了  $120 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $174 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 。  $A$  的轴线位于平凉和武都之间,呈东北、西南走向,实际降水出现在  $A$  轴线上,两者配置极为一致。

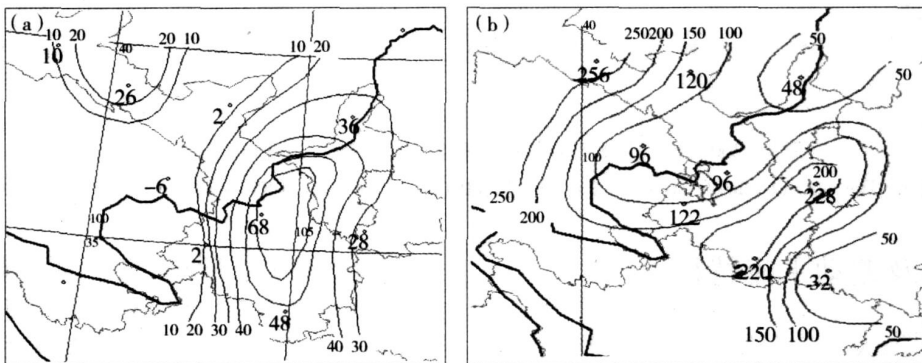


图 5 2004年 5月 28日 08时和 20时差动平流

Fig 5 The temperature differential advection fields at 08:00 (a) and 20:00 (b) on May 28, 2004

## 5 结 论

(1)产生大范围强降水的有利环流形势场特征是西太平洋副热带高压快速“南压东退”,河套高压西北侧的西南暖湿气流的水汽输送,配合高空冷平流不断下滑。

(2)中、低层西南、偏南气流的水汽输送,一方面为这次降水形成和维持提供了源源不断的水汽,另一方面有利于降水落区不稳定能量的增大,为降水的产生提供了动能。

(3)大降水发生初期及发生时,中尺度系统的正涡度中心和垂直上升运动逐渐加强,以及低涡切变,冷锋过境是造成这次降水的关键。

(4)总温度平流和差动平流对这次降水过程有重要的贡献。

## 参考文献:

- [1] 黄玉霞,王宝鉴,王锡稳,等. “8 28”过程的多普勒雷达回波与水气输送特征分析[J]. 干旱气象, 2004, 22 (3): 49 - 54.
- [2] 白肇烨,徐国昌,孙学筠,等. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社, 1988. 202 - 220.
- [3] 陆汉城,杨国祥. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京:气象出版社, 2004. 278 - 284.
- [4] 寿绍文,励申申,姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社, 2003. 344.
- [5] 王建兵,王振国,王勇,等. 甘肃省“6 30”持续暴雨过程的水汽输送分析[J]. 干旱气象, 2006, 24 (增刊): 28 - 35.
- [6] 吴爱敏,薛 轩,白爱军,等. 庆阳 2次强对流天气过程的新一代雷达资料对比分析[J]. 干旱气象, 2007, 25 (2): 47.
- [7] 林本达. 大气中垂直环流的成因和诊断[A]. 北方天气文集(6) [C]. 北京:北方大学出版社, 1987. 139 - 149.
- [8] 郑峰,寿绍文. 一次东风波中尺度暴雨的矢量与 5预测能力对比[J]. 干旱气象, 2005, 23 (1): 45.
- [9] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社, 2005. 39 - 40.

## D i a g n o s i s o n a R a i n s t o r m i n E a r l y S u m m e r i n t h e M i d d l e - e a s t P a r t o f G a n s u

SUN Yulian<sup>1</sup>, REN Yulong<sup>1</sup>, MA Xinrong<sup>2</sup>

(1. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China;  
2. Gannan Meteorological Bureau of Gansu Province, Hezuo 747000, China)

**Abstract:** This paper analyzed the synoptic system such as the high and low jet, the front which induced the regional rainstorm in the middle - east part of Gansu province during 28 - 29 May 2004 by using Micaps and ECWFMF data. Results are as follows: (1) The cold air and the shortwave trough disrupted from the westly jet at the level of 500 hPa which moved from the Ural Mountain to the Balkhash Lake, moved along the bottom of the jet to the Hexi Corridor of Gansu and the middle part of Qinghai, which provided energy for the rainstorm; (2) The SW flow at the edge of subtropical high provided abundant vapour for it when subtropical high withdrew rapidly eastward and southward; (3) The vertical velocity, the vapor flux and the divergence of vapor flux have good indication to this rainstorm, and the total temperature advection and the differential advection have important contribution to the rainstorm.

**Key words:** the middle - east part of Gansu; rainstorm; westly jet