

# “8·19”甘肃区域暴雨的特征分析及数值模拟

赵庆云, 狄潇泓, 张铁军

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 分析了“8·19”甘肃区域暴雨发生的天气气候背景, 不同层次的环流特征; 重点分析了不同物理量场的变化, 云系的演变; 应用MM5中尺度非静力模式模拟了暴雨过程, 并对模拟结果进行了分析。结果表明: “8·19”甘肃区域暴雨除了有利的天气系统配置外, 低层强烈的风场辐合是导致暴雨的重要原因。强降雨带的移动滞后于云顶温度最低的强对流云带; MM5对降水过程的强度、落区有较好的预报能力, 尤其是12~48 h的预报效果相对最好, 对强降水天气预报有较好的指示意义。

**关键词:** 暴雨, 影响系统, 云图分析, MM5数值模拟  
**中图分类号:** P458 **文献标识码:** A

## 引言

甘肃省处在干旱半干旱气候区, 降水量不仅空间分布不均匀, 而且时间分布也极不均匀, 由于降水量的这种分布特征, 一些区域和一年中的某些月份, 近40 a日降水量 $R \geq 50$  mm的暴雨几乎没有出现过, 例如, 在年平均降水量 $< 100$  mm的酒泉地区。甘肃省暴雨最多出现在6~8月, 最早出现在4月, 最晚出现在10月, 其它月份从未出现过暴雨。从暴雨的频次分布看, 主要出现在7、8两月, 6月最少。这与我省降水量的月季分布是吻合的, 6~8月的降水量占全年降水量的1/2甚至更多, 而其中7月、8月又是这3个月中降水最多的月份。

西北地区的许多气象工作者, 对暴雨成因及预报做了大量的工作, 得出许多有意义的结论。指出100 hPa南亚高压的不同位置, 预示西北东部多雨或少雨的不同天气<sup>[1]</sup>。西北地区暴雨出现在一定的大尺度环流背景下, 与西风带、副热带和热带的环流系统有关。西太平洋副热带高压位置大致限定了可能产生暴雨的范围<sup>[2]</sup>等等。这些研究结果对认识西北地区暴雨的成因及预报具有指导意义。在实际业务预报中, 发现在有利于降水的大尺度环流背景下, 由于高低层环流场的配置及物理量场的差异, 暴雨的范围、强度明显不同, 因而分析导致暴雨的物理量场的特征, 对预报暴雨区域、强度是有意义的。

## 1 “8·19”暴雨概况

2004年8月19日08时至20日08时, 甘肃省河东普降中到大雨, 部分地方出现大到暴雨, 其中平凉、庆阳大部 and 会宁、华家岭出现暴雨, 最大降雨量出现在庆城, 为82.5 mm。这次降水是2004年入汛以后, 甘肃省最强的一次降水, 共计有13个站出现暴雨, 有21个站出现大雨或大到暴雨(图1)。这次区域性暴雨也是甘肃省自1981年以来最强的一次

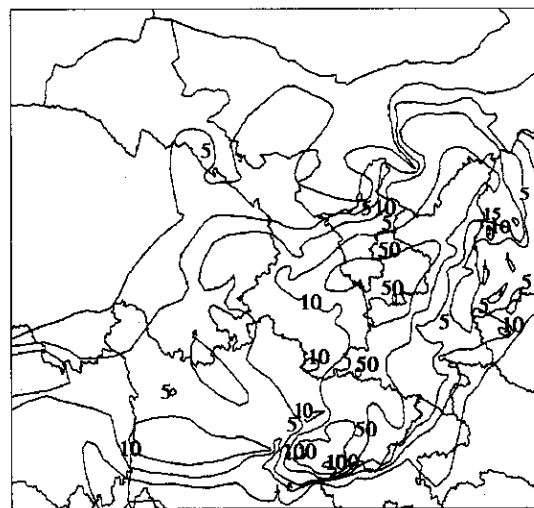


图1 2004年8月19日08时至20日08时降水实况  
Fig. 1 The precipitation from 08 00 August 19 to 08 00 August 20, 2004

收稿日期: 2005-07-22 改回日期: 2005-09-27

基金项目: 甘肃省气象局气象科研项目“现实预报”(2005.03)资助

作者简介: 赵庆云(1962-), 女, 甘肃兰州市人, 高级工程师, 主要从事天气气候的预报与研究. E-mail: zhaoyun\_gs@126.com

降水,近 50 a 来,也仅有 1970 年 8 月 29 日(18 站暴雨)和 1981 年 7 月 13 日(15 站暴雨)降水强于这次。这次降水范围广、强度强,许多地方农作物受灾、绝收,基础设施被毁,在部分地方强降水还诱发了山洪等地质灾害,造成的经济损失数以万计。

## 2 暴雨的气候背景与“8·19”暴雨的环流特征

### 2.1 暴雨的气候背景

8 月下半月到 9 月初,西太平洋副热带高压,南亚高压开始南退,相对多雨带又退到西北地区东南部,此时,我省陇东、陇南的一些地方,又出现一个多雨时期<sup>[2]</sup>。此次暴雨正是在这种气候背景下发生的。

### 2.2 环流形势

分析 100 hPa 高度场,从 16 日以后,原在青藏高原西南部的一个高压中心分裂为 2 个,分别在日本南部和高原东南部,西西伯利亚有冷空气东移并南下,在蒙古西部形成低涡,18 日,低涡开始旋转东移,19 日,低涡东移到蒙古西部并减弱,其底部冷空气扫过我省。

18 日 20 时,500 hPa 图上,蒙古冷空气东南移,西风带中的小槽位于我省河西西部,到 19 日 08 时,内蒙西部形成低涡,低压槽已移到我省中部,大约在 100°~105°E 之间,同时在青藏高原东侧形成了一支西南气流。19 日 20 时,低槽区中的辐合加强,辐合区东移到我省中部至陇东、陇南之间,20 日 08 时,低压槽东移出我省,我省上空为槽后西北气流控制,降水结束。

过程前一天,700 hPa 上风场较乱,在我省中部、甘南有弱的辐合,到 19 日 08 时,从北部湾经云南、四川到陕南、陇东南建立起一致的西南偏南气流,与西北气流辐合在我省中部至陇东、陇南一带,辐合线呈东北—西南向,19 日 20 时,辐合加强,辐合线呈南—北向,在我省东部,此时偏南气流也加大到 12 m/s,最大风速达 16 m/s,到 20 日 08 时,辐合区向东北方向移出我省。高层冷空气东移,低层西南暖湿气流强烈北上,在我省陇东南形成强烈辐合上升,引发了这次暴雨。

### 2.3 “8·19”暴雨要素场异常分析

分析暴雨发生时对流层中、低层各层风场、散度场、水汽输送等要素场(图略),发现除了暴雨所必须的元素特征外,低层风场的辐合和低空急流尤其明显。

众所周知,低空西南急流是引起中国暴雨的主要天气系统之一<sup>[3]</sup>,此次暴雨发生前的 19 日 08 时

对流层低层 700 hPa(图略)上,西北区东部除了有闭合的气旋性环流外,低层风场的辐合和低空急流尤为明显,四川盆地到甘肃陇东有一支偏南气流,其西部为偏北气流。到 19 日 20 时,偏南气流加强为风速 12 m/s 以上的低空急流,从我国西南地区直达陇东南、陕北一带,最大风速达 16 m/s,这支气流在宁夏南部经我省天水、陇南到川西高原一线与北风辐合,辐合线附近湿度很大,温度露点差最小的地方只有 0.5℃。这种近乎北风和南风之间的切变辐合最强时,辐合区只有约 1~2 个经度宽,位于 106°E 附近。这种短时间内形成的狭窄的辐合区,在我省出现的机会并不多,但这也恰恰是导致这次暴雨必不可缺的条件之一。一方面,偏南低空急流不断向暴雨区上空输送暖湿空气,受到切变线的阻挡,在这一区域集聚充沛的水汽,为暴雨的产生提供了水汽条件。另一方面,低层冷暖空气在一个狭窄的区域内辐合,在甘肃东部地区形成强烈的上升运动区<sup>[4~5]</sup>。这次暴雨正是发生在低空急流的左侧,低空切变线右侧<sup>[6]</sup>,随着切变线逐渐向东北偏东方向移动,其所到之处,造成了大范围的暴雨天气。

## 3 云团的演变特征及与强降雨带的关系

应用 FY-2B 红外卫星云图分析这次暴雨的云团特征,8 月 19 日 08 时,冷锋云系呈东北—西南向的带状分布,在河西中部到青藏高原中部,宽度大约为 5 个经度,其东头为片状中低云,西部云带中有块状的对流云团,与之对应,08 时青海东部、甘肃省河西西部、陇中出现降水。此后,带状云系沿其走向向东北方向发展,并缓慢东移。分析每小时云图变化特征,在带状云中可见有一条条基本与纬线平行的弓形小云带及形似逗点云的小云带、中小尺度云团、云线向东北方向移动。其中中小尺度云团、云线向东北运动的速度比云带整体东移速度快的多。到 19 日 11 时(图 2),带状云东北部在内蒙中部,河套附近,尾部(西南部)在西藏东部,孟加拉湾有云团发展并向东北方向移动,并入带状云西南部,此时云带加宽,约有 10 个经度宽,其前缘是极其杂乱的羽状云,紧随其后的是较为密实的云块、云团,其云顶温度是整个云系中最低的地方,后缘则边缘清晰,云顶温度较高。陇东处在云带前缘,云顶温度在 -35~-45℃,甘肃中部上空是块状的对流云团,云顶温度在 -40~-45℃左右,此时中部降水强度已经加大,而陇东则刚开始降水。此后的几个小时,云带

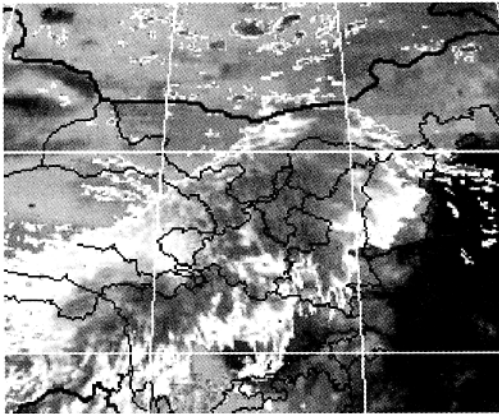


图2 2004年8月19日11时FY-2红外云图  
Fig.2 FY-2 satellite infrared image at 11 00 on August 19 2004

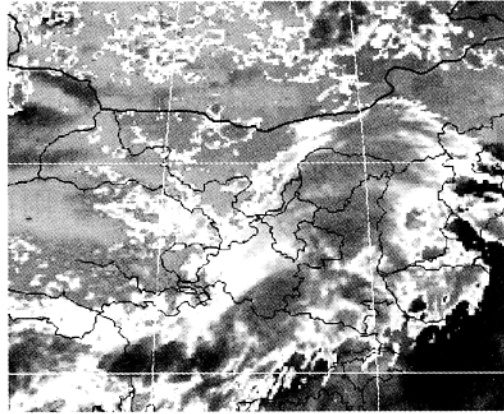


图3 2004年8月19日20时FY-2红外云图  
Fig.3 FY-2 satellite infrared image at 20 00 on August 19 2004

维持这种形态东移,20时(图3),云带后缘基本东移到河西东部,前缘在山西、湖北西部、四川东部一带,云顶温度最低值在陇南和陕南之间,约 $-50^{\circ}\text{C}$ 。此后,四川西南部不断有对流云团生成并迅速向东北方向移动,并入带状云带尾部加强发展,这时我省陇东南地区出现大范围暴雨。到20日08时,影响甘肃的云带发展为后部边缘清楚的大尺度逗点云

系,整个云系移出我省,甘肃降水结束。

将逐时云图与陇东各站地面观测1h降水量自记资料(表1)进行比较分析发现,这次暴雨过程中,云顶温度最低时并非降水最强时,强降雨带的移动稍滞后于云顶温度最低的强对流云带<sup>[7]</sup>。这对我省大降水过程的强度、落区预报有较好的指导意义。

表1 2004年8月19日14时至20日02时陇东3站雨量自记

Tab.1 The precipitation by automatic record in the east part of Gansu from 14 00 to 20 00 on August 19 2004

雨量(mm)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02
华亭	2.7	4.5	7.6	6.6	12.3	3.7	7.9	8.1	7.0	4.9	4.4	2.4
泾川	0.1	0.1	2.1	4.0	5.6	3.2	2.5	2.9	3.7	7.8	14.6	11.0
庆城	0.1	0.0	0.0	1.4	7.8	6.3	13.6	11.8	5.6	9.5	5.4	1.9

## 4 MM5 数值模拟及结果检验

### 4.1 模拟试验方案设计

采用兰州中心气象台非静力中尺度模式MM5对本次过程进行数值模拟。MM5是由PSU/NCAR开发的高分辨率中尺度非静力数值模式,广泛应用于中小尺度天气分析。本文模式设计中心点为 $100^{\circ}\text{E}$ 、 $39^{\circ}\text{N}$ ,模式采用三重嵌套方式,粗网格区域格距为45 km,格点数为 $133 \times 133$ ,细网格区域格距为15 km,格点数为 $151 \times 151$ ,更细网格区域格距为5 km,格点数为 $151 \times 151$ ,垂直方向为 $\sigma$ 坐标,模拟中取 $\sigma$ 为不等距的23层,时间积分步长为135 s。模式初始化以国家气象局T213( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经/纬网格点)资料作为大尺度背景场,以常规的探空和地面资料与第一猜测场做为初始条件(表2)。

表2 模式物理化过程

Tab.2 Physics course of the model

模式参数	最外层粗网格	中间层细网格	最内层细网格
湿物理过程	Mixed - Phase	Mixed - Phase	Mixed - Phase
积云对流参数化	Grell - Grell	Grell - Grell	None
行星边界层方案	MRF	MRF	MRF
大气辐射方案	Cloud	Cloud	Cloud

### 4.2 风场模拟分析

图4为MM5模拟的2004年8月19日20时700 hPa风场和同时刻实况场。由图可见,暴雨发生时从四川东部到甘肃陇东南的风速 $\geq 16 \text{ m/s}$ 的偏南急流被MM5准确模拟,南北向辐合线的位置也与实况非常一致,如前面的分析,这支偏南急流向陇东南输送了大量水汽,为暴雨提供了水汽和辐合上升条件。对暴雨过程中中高层500、300 hPa的风场,MM5的模拟结果也与实况非常一致(图略)。

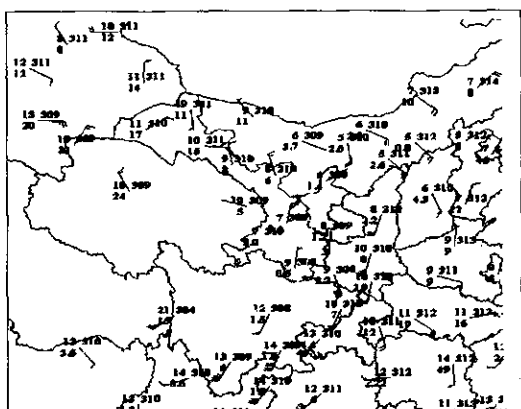


图4a 2004年8月19日20时700 hPa实况场

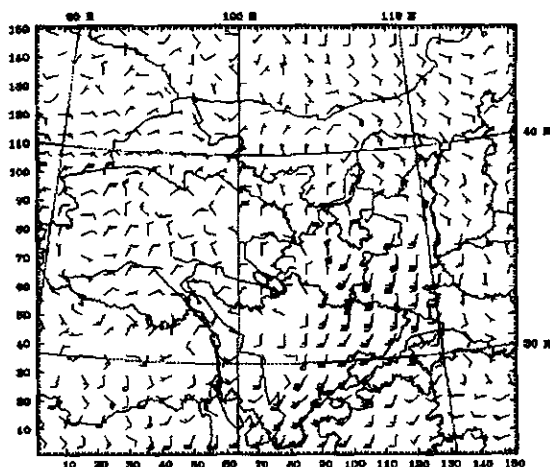


图4b 2004年8月19日20时700 hPa风场模拟  
Fig.4 700 hPa wind field at 20 00 on August 19 2004  
a for observed ; b for numerical simulated

### 4.3 MM5 降水量预报与实况的对比分析

MM5 24 h 降水量预报模式从 8 月 16 日 20 时到 19 日 08 时, 连续预报 8 月 19 日 08 时至 20 日 08 时甘肃省河东有暴雨天气。图 5b、c、d 分别是暴雨过程发生前 30 h、前 18 h、前 6 h 模式对 19 日 14 ~ 20 时的 6 h 降水量预报场, 这 3 个时次都预报出了强降水, 18 日 20 时较准确地描述了降水中心、雨区位置, 但量级稍偏大, 18 日 08 时和 19 日 08 时 2 个时次的预报对大量级降水有反映, 但大降水中心位置和雨带范围与实况偏差较大。分析过程前 12 h、前 24 h、前 36 h 3 个时段 6 h 降水预报(图略)发现, 距起报时间 12 ~ 36 h 时段的预报质量最稳定、结果最准确, 这可能与这个时段模式计算开始稳定, 而预报时效又不很长, 计算误差还很小有关。分析 24 h 时段的预报, 模式从计算开始就预报了 8 月 19 日 08 时至 20 日 08 时我省河东及宁夏南部、陕西南部、四川东部有大量级降水, 但量级普遍偏大。比较而言, 对这次降水过程, MM5 在过程前 36 h 预报降水中心、落区、量级较其它时次的预报更准确。

由以上分析可以得出结论, MM5 对强降水过程有较好的模拟、预报能力, 过程前 12 ~ 48 h 的预报, 雨带范围、降水中心、中心量级、雨带移动趋势模拟、预报效果最好, 对我省强降水天气预报有较好的指示意义。

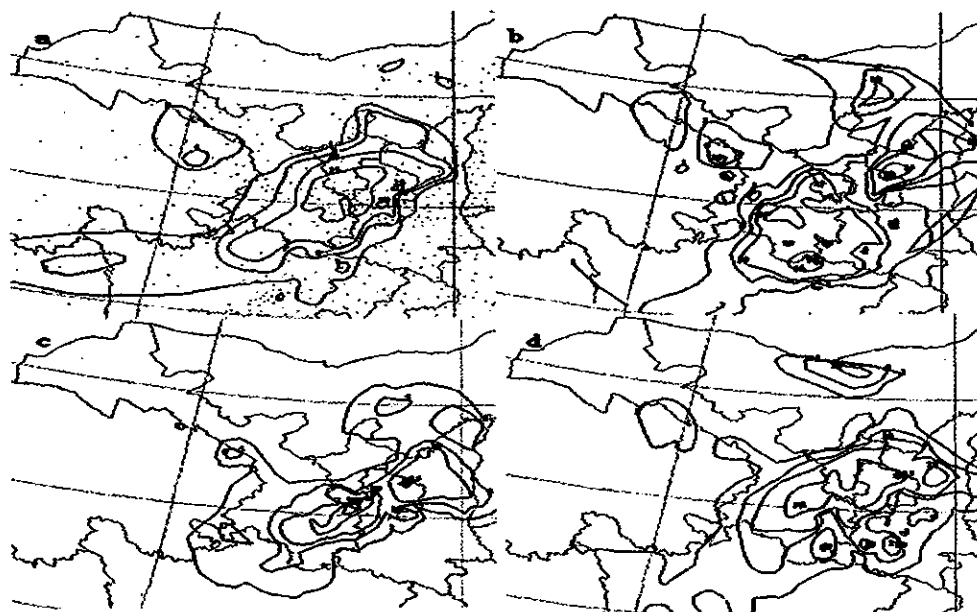


图5 19日14至20时降水实况(a)与18日08时(b)、20时(c)、19日08时(d)预报场  
Fig.5 The precipitation from 14 00 to 20 00 on August 19 2004 a :observed ; b :forecasted by MM5 at 08 00 August 18 ,2004 ; c :forecasted by MM5 at 20 00 August 18 2004 ; d :forecasted by MM5 at 08 00 August 19 2004

## 5 小 结

(1) 大降水的气候背景对暴雨预报有一定的指导作用。

(2) “8·19”区域暴雨除了有利的天气系统配置外,低层强烈的风场辐合是导致暴雨的重要原因。

(3) 强降雨带的移动稍滞后于云顶温度最低的强对流云带。

(4) MM5 对强降水过程有较好的预报能力,尤其是 12~48 h 的预报效果最好,对我省强降水天气预报有较好的指示意义。

### 参考文献:

- [ 1 ] 孙国武,李春虎,周亚军,等.业务系统手册[M].北京:气象出版社,1993.246-265.
- [ 2 ] 白肇焯,徐国昌,孙学筠,等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1991.202-254.
- [ 3 ] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.3-5,144-155.
- [ 4 ] 《西北暴雨》编写组.西北暴雨[M].北京:气象出版社,1992.82-84.
- [ 5 ] 纪晓玲,贾宏元,沈跃琴.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,2004,22(2):17-22.
- [ 6 ] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,1992.531.
- [ 7 ] 叶成志,周雨华,黄小玉,等.2002年入汛后首场强暴雨过程分析[J].气象,2004,30(7):36-40.

## Analysis and Numerical Simulation of the Heavy Rain in Gansu Province on 19 August 2004

ZHAO Qing-yun, DI Xiao-hong, ZHANG Tie-jun

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract** A regional heavy rain process occurred in Gansu province on 19 August in 2004 was analyzed from the weather and climatic background, circulation characteristics, as well as the change of different physical quantities and the evolution of the cloud cluster, at the same time it was simulated by MM5. Results show that the favorable weather condition and the convergence of the low-level wind are the main reasons of this heavy rain, the moving of the heavy rain zone lagged the strong convective cloud band on FY-2C hourly satellite images. The simulated result indicates that MM5 is available for forecasting the intensity and location of the rainfall, particularly for 12~48 hours rainfall forecasting, it has some significance for forecasting strong rainfall events.

**Key words** heavy rain; influence system; satellite cloud image analysis; numerical simulation