

文章编号: 1006-4354 (2005) 04-0005-04

# 一次高原涡突发大暴雨的数值分析

梁生俊, 张 弘, 杜继稳

(陕西省气象台, 陕西西安 710014)

**摘 要:** 通过改变中低层冷空气、低层水汽、西南低空急流和低涡的特征, 利用  $\eta$ -坐标中尺度数值模式进行数值试验, 分析探讨它们在 2003-07-15 高原东侧低涡切变突发大暴雨形成过程中的作用, 结果表明它们对雨带形状、大暴雨范围和量级有明显影响, 合适冷空气是高能暖湿和强烈不稳定产生强降水的必要条件。

**关键词:** 低涡切变; 突发大暴雨; 数值分析

**中图分类号:** P458.121.1

**文献标识码:** A

2003 年 7 月 15 日秦巴山区出现了暴雨 18 站, 大暴雨 5 站。此次降水突发性强, 雨强大, 来势猛, 强降水主要集中在 15 日 08—14 时 6 h 内, 大降水区主要有 2 个中心(图 1a), 分别位于陕西西南部的汉中和陕西中部的渭北黄土高原, 陕西境内秦岭和巴山之间的宁强县出现了建站以来最强的大暴雨, 日降水量为 184.6 mm, 15 日 08—14 时 6 h 降水量为 134.6 mm, 最大雨强为 08—09 时的 39.2 mm。如此大的降水和雨强在内陆地区是少见的, 其紧邻的县日降水量不超过 80 mm, 说明降水局地性强; 大暴雨引发严重的洪涝灾害, 造成县城进水, 道路、通讯中断, 直接经济损失上亿元。强降水由于出现前征兆不明显, 预报难度更大。本文中尺度数值模拟探讨此次大降水的成因。

## 1 $\eta$ -坐标中尺度数值模式简介

选用能较好反映陡峭山脉的  $\eta$ -坐标中尺度模式<sup>[1-2]</sup>, 采用 E 网格水平变量分布, 水平分辨率

为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , 垂直分层为 16 层。模式的主要物理过程: (1) 大尺度凝结降水, (2) Betts 对流调整和对流降水, (3) 水平扩散和垂直对流输送, (4) 地面辐射收支和边界层参数化。计算范围取  $90^\circ \sim 130^\circ \text{E}$ ,  $20^\circ \sim 50^\circ \text{N}$ 。积分时间 24 h。

## 2 模式对降水的预报

2003 年 15 日 08 时, 亚洲 500 hPa 中高纬环流呈稳定的“两槽一脊”型, 巴湖到河套地区为低槽区, 冷空气前锋位于河套西侧, 高原槽加深, 有温度槽配合, 高原槽前有较强冷平流, 副热带高压逐渐加强西伸北抬, 脊线北抬到  $26^\circ \text{N}$ , 主体西进到大陆的福建地区, 588 dagpm 线位于南京—郑州—重庆一线, 四川到河套位于副高西侧的暖湿气流中; 700 hPa 14 日 20 时高原东部形成一个暖性低涡, 随着冷空气的冲击和西太平洋副高的加强西伸北抬, 15 日 08 时暖涡东移到四川北部到陕西南部, 中心位于秦巴山区, 中心高度为

收稿日期: 2005-04-12

作者简介: 梁生俊 (1964-), 男, 山西运城人, 硕士, 高级工程师, 主要从事天气预报和技术研究。

处理: 用 Windows 自带“图像处理工具”调用扫描仪, 扫描仪启动、运行、工作一切正常。

原因: Windows 自带的“图像处理工具”与 EPSON GT-10000+ 自带图像扫描程序产生冲突, 扫描仪默认 Windows 自带“图像处理工具”,

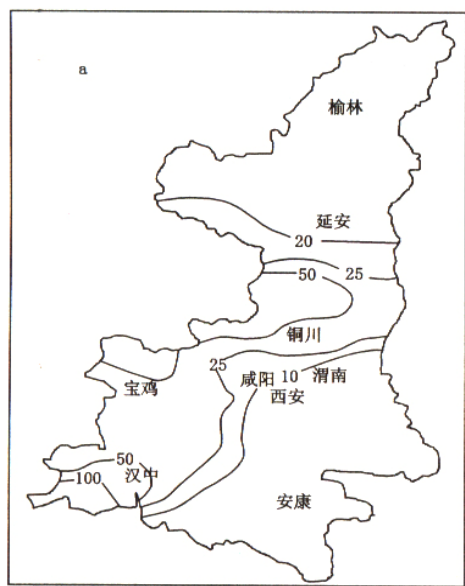
而 EPSON GT-10000+ 配备的图像扫描程序则始终无法找到或打开“扫描仪”。重装 Windows 操作系统, 恢复 Windows 自带“图像处理工具”未调用扫描仪前的状态, 重新安装扫描仪后故障解决。

(汤 浪)

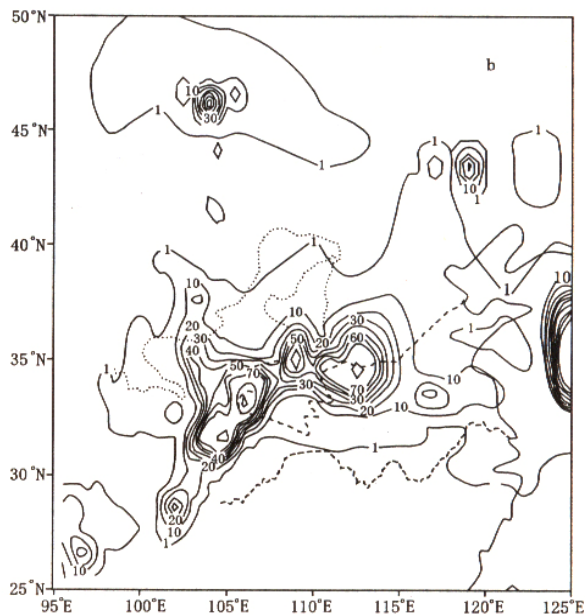
308 dagpm, 副高西侧从云贵高原经四川到陕西南部形成一支 $\geq 12$  m/s 的西南暖湿急流和南北走向切变线; 15日08时地面倒槽位于四川到河套南部一带, 在秦巴山区形成西北风和偏东风的地面中尺度辐合线, 从而触发了强对流性大降水, 造成大暴雨过程。

模式在2003年汛期作为业务模式, 逐日计

算, 24 h 降水预报场具有较高的参考价值, 从图1b可以看出, 24 h 降水预报对雨带形状和大降水落区与降水实况比较吻合, 量级略小, 实况降水中心最大为184.6 mm, 模式预告中心最大为90~100 mm, 中心位置与实况一致, 说明模式预报比较成功, 对此次高原涡引发的突发性大暴雨有很好的模拟能力。



实况



模式24 h 预报

图1 2003-07-15-08—16-08 雨量(单位: mm)

### 3 数值试验结果分析

分析降水形成的影响因子, 发现此次大降水主要是由低空水汽、暖性低涡切变、西南低空急流和高原冷空气共同作用造成的。利用数值模拟技术探讨中低层冷空气、低层水汽、西南低空急流和低涡对大降水形成的作用, 设计了4个试验方案(表1)。减弱700 hPa 的水汽使云贵川到河套地区的 $t-t_d=5^\circ\text{C}$ ; 减弱低空急流即使700 hPa

的云贵川到河套地区西南风速减小30%; 去掉低涡即改变风向使位于川北和秦巴山区的低涡消失; 减弱冷空气即把500 hPa 上青藏高原东南部的气温升高 $3^\circ\text{C}$ 。

#### 3.1 低空水汽减弱对大降水的影响

从图2中可以看出, 减弱低空水汽, 雨带的形状和范围改变不大, 降水量级明显减小, 降水最大中心值为50 mm, 分析原因是减弱水汽后使低层水汽向暴雨区输送减弱, 降水减小; 从模拟的 $\theta_{se}$ 分布可看出(图略), 水汽减弱改变了低层大气的热力学性质。由于主导大气环流形势未有大的调整, 随着环流的演变促使雨带维持, 大降水落区和范围变化不大。结果表明, 低空水汽对降水的量级作用明显。

表1 模式试验方案

| 序列号 | 试验方案                    |
|-----|-------------------------|
| 试验一 | 减弱低层水汽                  |
| 试验二 | 减弱低空急流风速(30%)           |
| 试验三 | 去掉700 hPa 低涡            |
| 试验四 | 减弱500 hPa、700 hPa 高原冷空气 |

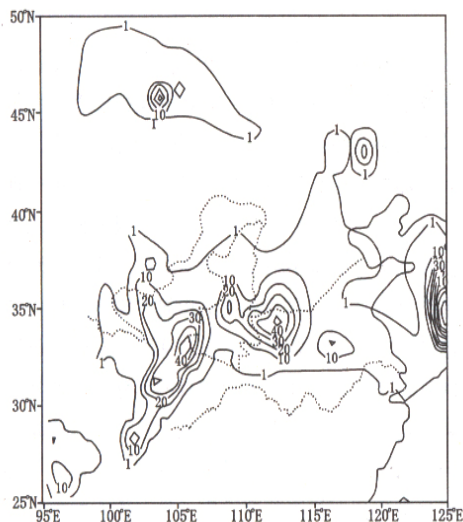


图2 改变低空水汽 24 h 降水预告  
(15日08时—16日08时, 单位: mm)

### 3.2 减弱低空急流对大降水的影响

研究表明,暴雨常常是由深对流系统产生,它与高空急流有着密切关系。对暴雨的形成,低空暖湿西南急流一方面输送水汽和能量,另一方面有助于必要的动力条件的维持<sup>[3-6]</sup>。低空急流对此次暴雨有着直接的作用,图3为减弱低空急流后的24 h降水预告图,发现降水范围、量级明显减小,最大降水中心值为40 mm,雨带南压近200 km,说明低空急流减弱,水汽通道被破坏,水汽和能量不能向北输送,偏南气流与偏北气流的辐合带南压,从而使雨区南压,量级减小,雨带形状改变。进一步分析发现,减弱急流后,700 hPa上的低涡在大约8 h后减弱消散(图略)。

### 3.3 低层低涡对大降水的影响

7月14日从高原上东移到川北和陕南的低涡是宁强突发性大暴雨的直接影响系统,低涡与副高西侧的SW—NE走向的偏北风与西南风形成的切变线附近具有强的低层辐合和位势不稳定,为大暴雨形成和维持提供必要的动力、能量条件,为了进一步分析它们对暴雨的作用,去掉低涡进行数值模拟试验。图4为无低涡的24 h降水预告,发现无低涡后降水范围、量级明显减小,最大降水中心值为30 mm,雨带形状发生明显改变,位于河套中部和河南北部的两个暴雨中心消

失,大降水区出现在四川到陇南,最大中心明显南压至四川南部到云贵一带,原有的低涡区降水消失。说明低涡是造成此次大暴雨的直接影响系统之一。

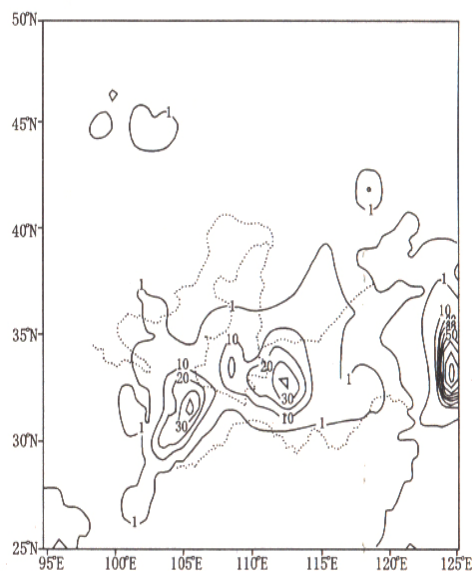


图3 减弱低空急流 24 h 降水预告图  
(15日08时—16日08时, 单位: mm)

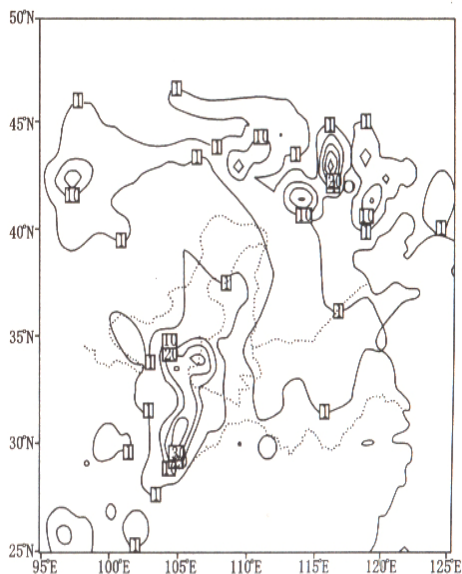


图4 无低涡 24 h 降水预告  
(15日08时—16日08时, 单位: mm)

### 3.4 冷空气对大降水的影响

研究表明,暴雨尤其是对流性强降水一般产

生 在 高 温 高 湿 并 具 有 强 位 势 不 稳 定 区 域， 此 次 暴 雨 发 生 前 低 空 增 温 明 显， 低 空 西 南 暖 湿 急 流 发 展， 将 暖 湿 气 流 大 量 输 送 到 四 川 和 河 套 地 区， 如 有 合 适 冷 空 气 配 合， 冷 暖 气 流 交 汇 并 触 发 不 稳 定 能 量 释 放， 从 而 产 生 大 暴 雨。 为 了 进 一 步 研 究 冷 空 气 在 此 次 暴 雨 形 成 中 的 作 用， 减 弱 冷 空 气 进 行 数 值 试 验。 图 5 为 减 弱 对 流 层 中 低 层 青 藏 高 原 东 部 冷 空 气 强 度 后 24 h 降 水 预 告， 可 以 看 出 雨 带 形 状 改 变 明 显， 原 来 位 于 川 北 到 陕 南 的 大 暴 雨 减 弱 为 20 mm， 陇 南 的 大 降 水 中 心 西 北 移 1 个 经 度， 中 心 值 增 大 到 40 mm， 河 套 中 部 的 暴 雨 中 心 减 弱 消 失， 降 水 仅 为 20 mm， 副 高 北 侧 河 南 西 部 的 暴 雨 中 心 基 本 不 变。 说 明 减 弱 西 路 冷 空 气 促 使 西 南 暖 湿 气 流 进 一 步 北 抬， 在 河 套 底 部 转 向 西 伸， 使 辐 合 区 西 北 移， 造 成 陇 南 的 大 降 水 中 心 明 显 西 北 移， 强 度 增 大； 川 北 到 陕 南 的 低 涡 由 于 没 有 合 适 的 冷 空 气 侵 入， 低 涡 切 变 附 近 的 不 稳 定 能 量 难 以 完 全 释 放， 使 该 处 大 降 水 减 小； 副 高 北 侧 河 南 西 部 的 暴 雨 形 成 是 东 路 冷 空 气 触 发 的， 试 验 未 改 变 此 路 冷 空 气， 故 此 大 降 水 中 心 存 在 且 变 化 不 大； 分 析 说 明 即 使 具 有 了 高 能 高 湿 和 强 烈 位 势 不 稳 定， 没 有 合 适 的 冷 空 气 配 合 并 触 发 其 能 量 释 放， 强 降 水 产 生 可 能 性 减 小。

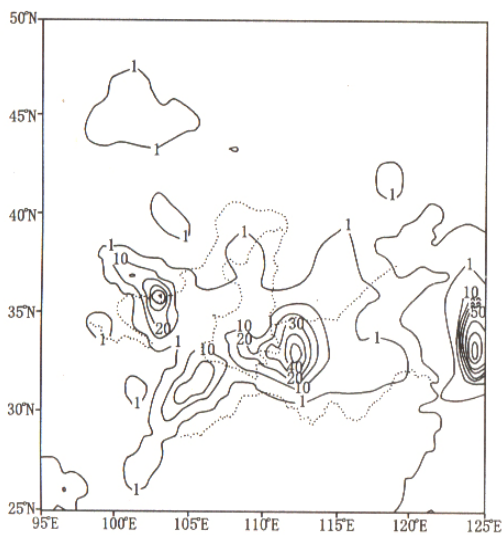


图 5 减弱冷空气 24 h 降水预告

(15 日 08 时—16 日 08 时， 单位： mm)

#### 4 小 结

能 较 好 反 映 陡 峭 山 脉 的  $\eta$ -坐 标 中 尺 度 模 式 对 此 次 低 涡 切 变 大 暴 雨 有 较 好 的 模 拟 能 力； 数 值 模 拟 结 果 表 明： 低 空 水 汽、 低 空 西 南 暖 湿 急 流、 西 太 平 洋 副 热 带 高 压 西 侧 的 低 涡 切 变 和 对 流 层 中 低 层 冷 空 气 对 暴 雨 形 成 有 明 显 作 用； 减 弱 低 空 水 汽 使 暴 雨 的 量 级 减 小 明 显； 减 弱 低 空 急 流 后， 水 汽 通 道 被 破 坏， 水 汽 和 能 量 不 能 向 北 输 送， 偏 南 气 流 与 偏 北 气 流 的 辐 合 带 南 压， 从 而 使 雨 带 南 压 近 200 km， 量 级 减 小， 改 变 雨 带 的 形 状； 无 低 涡 后 降 水 范 围、 量 级 明 显 减 小， 最 大 降 水 中 心 值 减 小 到 原 来 的 1/3， 雨 带 形 状 发 生 明 显 改 变， 最 大 中 心 明 显 南 压 到 四 川 南 部 到 云 贵 一 带， 原 有 的 低 涡 区 降 水 消 失， 说 明 低 涡 是 造 成 此 次 大 暴 雨 的 直 接 影 响 系 统； 减 弱 对 流 层 中 低 层 青 藏 高 原 东 部 冷 空 气 强 度 雨 带 形 状 发 生 大 的 改 变， 大 暴 雨 明 显 减 弱， 陇 南 的 大 降 水 中 心 明 显 西 北 移 1 个 经 度， 中 心 值 增 大， 低 涡 由 于 没 有 合 适 的 冷 空 气 侵 入， 低 涡 切 变 附 近 的 不 稳 定 能 量 难 以 完 全 释 放， 说 明 即 使 具 有 了 高 能 高 湿 和 强 烈 位 势 不 稳 定， 没 有 合 适 的 冷 空 气 配 合， 大 暴 雨 不 易 产 生。

#### 参 考 文 献：

- [1] 宇如聪, 曾庆存, 彭贵康. “雅安天漏”研究Ⅱ: 数值预报研究[J]. 大气科学, 1989, 18(5): 535-551.
- [2] 梁生俊, 杜继稳, 朱爱荣, 等. 强地形有限区域中尺度模式与陕西大降水的预报[J]. 西北大学学报, 1996, 26(2): 916-937.
- [3] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社. 1980.
- [4] 高守亭, 孙淑清. 次天气尺度低空急流的形成[J]. 大气科学, 1984, 8(2): 178-188.
- [5] 孙淑清. 低层风场在暴雨发生中的动力作用[J]. 大气科学, 1980, 6(2): 394-403, 145-152.
- [6] 丁一汇. 中尺度天气和动力学研究[M]. 北京: 气象出版社. 1996.