

文章编号:1004-9045(2008)01-0032-05

# 2003 年渭河流域一次致洪暴雨过程综合分析

梁生俊

(陕西省气象台, 西安 710015)

**摘要:** 利用实况高空探测、地面观测资料和 T213 1°×1° 格点资料, 使用天气学诊断方法, 对 2003 年 8 月 28 日出现在渭河流域的一次暴雨过程进行了综合分析。结果表明, 西太平洋副热带高压加强西伸和稳定强盛有利于渭河流域强降水持续; 700 hPa 低涡和切变线是这次暴雨的直接影响系统; 暴雨上空具有高层辐散、低层辐合的散度结构和强烈的上升运动, 形成的中尺度次级环流有利于暴雨的维持; 暴雨区具有强的能量锋和对流不稳定, 具有典型的 结构; 其水汽主要来源于孟加拉湾和中国南海。

**关键词:** 致洪暴雨; 诊断分析; 次级环流; 能量锋

**中图分类号:** P458.1\*21.1 **文献标识码:** A

## 1 引言

我国西北地区东部处于我国季风降雨向内陆急剧减少的过渡带, 冷暖空气经常在此交汇, 是西北地区暴雨最多的地区<sup>[1]</sup>。由于地形地貌特殊、降水总体偏少, 该地区对自然灾害的抗御能力非常脆弱, 一旦发生暴雨, 极易形成洪涝灾害, 且该地区的暴雨多数生命史短、强度大、突发性强, 所造成的危害特别大。因此, 对发生在该地区的一些典型暴雨天气过程进行深入分析和中尺度数值模拟研究十分必要。

对于我国西北地区东部暴雨天气的发生、发展和结构演变等规律, 已有不少专家进行过较为深入的研究。如毕宝贵等<sup>[2]</sup>利用中尺度数值模式对 2002 年 6 月 8 日陕南大暴雨进行了中尺度分析, 指出此类暴雨具有很强的局地性和突发性; 李晓霞等<sup>[3]</sup>利用 MM5 模式对 2004 年 8 月 19 日出现在西北地区东部的一次暴雨过程进行了诊断模拟, 揭示出其形成的有利环流配置和物理量特征; 杜继稳等<sup>[4]</sup>从该地区的暴雨与特殊地形的关系着眼, 重点研究了秦岭山脉与陕西暴雨分布的关系, 指出秦岭山脉的存在使低空物理量场呈现波列结构和中尺度特征, 引起暴雨落区北移。

上述研究, 相对侧重于局地大暴雨及其特殊地形的作用, 以及暴雨同期环流结构和物理量分布特征的分析, 而对引发青藏高原东北侧陕西渭河流域严重洪涝灾害的大暴雨的环流特征和物理量分布配置研究相对较少。实际业务中, 暴雨特别西北地区暴雨仍然是预报的难点, 为了提炼此类暴雨的前期征兆和预报着眼点, 提高暴雨预报能力和准确率, 本文利用诊断

分析方法, 从动力场、热力场和水汽场对 2003 年 8 月 29 日渭河流域大暴雨过程进行了分析, 以期为此类大暴雨的实时业务预报提供参考依据。

## 2 雨情及灾情

2003 年 8 月 28~29 日, 陕西中南部特别是渭河流域中下游出现历史罕见的区域性暴雨, 分别有 44 站、6 站、1 站出现暴雨、大暴雨和特大暴雨, 其中宁陕县 24 h 降水量达 304.1 mm, 创该站有气象记录以来日降水量最大值; 陕西境内渭河流域的 47 个县日雨量均 40 mm, 其中, 50 mm 的有 37 县, 100 mm 的有 4 县(图 1)。这次暴雨过程降水强度之大、范围之广是陕西省有气象记录以来前所未有的, 在渭河流域也是首次, 引发的洪涝灾害在渭河流域历史上极其少见。

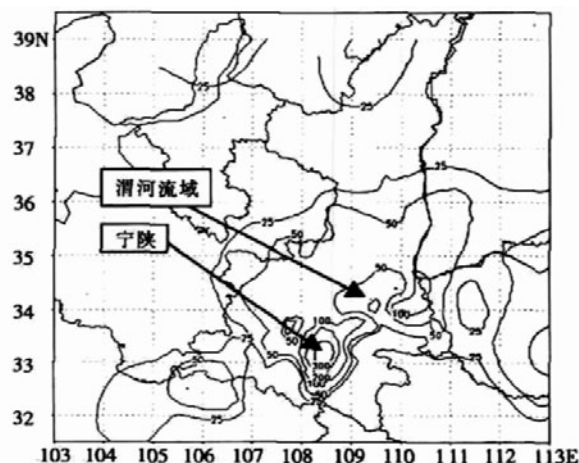


图 1 2003 年 8 月 28 日 20 时至 29 日 20 时  
陕西降水量分布(单位:mm)

收稿日期:2007-07-25; 定稿日期:2007-12-07

基金项目:中国气象局新技术推广预报员专项(CMATG2005Y09)资助

作者简介:梁生俊,男,1964年生,高级工程师,主要从事天气预报理论与方法研究。E-mail: Liangsj309@sina.com

此次暴雨过程的降水主要出现在 8 月 28 日晚到 29 日白天。由 6 h 降水量变化资料可知, 最强降水时段在 29 日 02-08 时, 渭河流域中上游的宝鸡、咸阳、西安和铜川等市, 该时段降水量  $\geq 20$  mm 的有 17 县,

30 mm 的有 8 县, 50 mm 的有 5 县。由于此前 8 月 24 日该流域出现过强降水而使渭河来水充沛, 渭河出现当年第二强洪峰(在历史上排第三), 其流量达  $3\ 547\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , 水位一度高达 342.7 m, 超历史最高水位 0.5 m, 这次洪峰使渭河下游 3 条支流发生倒灌, 致使 5 处决堤, 洪水肆虐, 村庄和农田被淹, 部分水利、交通、电力、通信等基础设施受到严重损坏, 直接经济损失超过 23 亿元。

### 3 高、低空环流背景

500 hPa 图上(图略), 2003 年 8 月 28 日 20 时, 欧亚中高纬地区为“两槽一脊”环流型, 两长波槽分别位于  $40^{\circ}\text{E}$  和  $130^{\circ}\text{E}$  附近, 阻塞高压维持在  $75^{\circ}\text{E}$  巴尔喀什湖附近; 阻塞高压前部的巴尔喀什湖至新疆北部有一横槽, 槽前  $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$  范围气流较平直, 不断分裂短波槽携带冷空气向东南方向移动到河套地区, 高空锋区位于河套北部( $38^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ )。中低纬地区, 副热带高压呈纬向分布, 强盛且稳定少动, 588 dagpm 线北部边缘位于  $34^{\circ}\text{N}$ , 西伸脊点位于  $105^{\circ}\text{E}$ , 青藏高原中部的青海有高原槽发展, 川西到甘南维持一低槽, 槽前有西南气流发展; 2003 年第 12 号台风“科罗旺”于 25 日在我国登陆后沿西北方向移至云南一带后变性为热带低压, 其携带的大量暖湿空气被副高西侧的西南气流输送到河套地区, 同时副高西北侧的西南气流将水汽和能量不断输送到河套地区的渭河流域, 使冷空气与暖湿空气在渭河流域交汇并形成有利暴雨产生的环流配置。到 29 日 08 时, 欧亚中高纬地区“两槽一脊”环流型维持, 但位于  $75^{\circ}\text{E}$  的阻塞高压有所减弱, 其前部原位于巴尔喀什湖至新疆北部的横槽缓慢转竖, 且东南移至新疆东部和青海西部与原高原槽合并加深, 副热带高压稳定少动, 在其西侧的西南暖湿气流引导下, 登陆台风变性的热低压西北行与 28 日 20 时位于川西的低槽合并, 使西南暖湿气流增强北伸, 高空锋区南压到  $36^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  河套中北部的渭河流域, 在这样的环流配置下渭河流域暴雨持续。

700 hPa 图上(图略), 28 日 20 时, 副高强盛且稳定, 蒙古国西部有一小高压, 甘肃南部的平凉地区存在一低涡环流, 蒙古小高压底部的东北风与副高西侧和低涡前部的西南风在河套底部的渭河流域形成一条东西向横切变, 从低涡中心到四川形成一偏北风和

偏南风的竖切变, 此“人”字型切变形成后在副高的阻挡下稳定少动, 变性的登陆台风热低压位于云南北部, 受西南气流引导西北移, 从云贵高原经四川到河套底部的渭河流域形成一支完整的  $8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南风, 在河套中部东北风和副高西侧西南风的共同作用下, 上述切变缓慢东移, 给陕西南部到渭河流域带来大范围强降水, 暴雨落区与“人”型切变走向基本一致, 并偏向暖区一侧。到 29 日 08 时, 蒙古国小高压南压到河套地区北部, 低涡东移到陕西渭河流域西部并与西北行的变性热低压打通, 在云南经四川到渭河流域形成一条南北走向的切变, 横切变稳定在渭河流域的秦岭以北地区, 从南海到陕西中南部和从孟加拉湾经云贵到陕西中南部分别形成偏南气流在渭河流域汇合, 使水汽和高温高能空气向渭河流域输送、聚集, 从而使暴雨加强并持续。可见, 此次暴雨过程的直接影响系统是低涡切变、副高西侧的西南暖湿气流; 水汽源地为中国南海和孟加拉湾。

850 hPa 图上(图略), 28 日 20 时,  $40^{\circ}\text{N}$  以北、 $50^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$  地区为高压带, 脊线位于  $90^{\circ}\text{E}$ (新疆), 高压带东南底部位于河套地区东北部(内蒙东部);  $40^{\circ}\text{N}$  以南、 $70^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$  地区为宽广低压带, 川东有低涡维持, 从低涡向东北延伸一条东南风和偏北风的切变, 在陕西中部的渭河流域转为东西向横切变, 从南海经广西、贵州和川东到渭河流域维持一支  $8\sim 12\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的偏南气流, 副高主体位于海上, 脊线位于  $25^{\circ}\text{N}$ , 西伸脊点位于  $110^{\circ}\text{E}$ 。到 29 日 08 时, 上述高压带稳定, 其东部位于内蒙东部并明显南压到  $37^{\circ}\text{N}$  的华北地区, 副高西伸到  $116^{\circ}\text{E}$  的赣中, 促使其西侧的偏南气流与来自孟加拉湾低槽前部的西南气流在川东到渭河流域中下游合并加强, 大量暖湿气流与华北高压底部东北气流在渭河流域交汇, 形成一条东西向横切变, 产生暴雨。

在地面图上(图略), 28 日 20 时, 蒙古国有一冷高压, 四川为暖低压控制, 锋面位于陕北( $40^{\circ}\text{N}$  附近); 随着锋面缓慢南压, 到 29 日 02 时冷锋位于河套中南部的渭河流域, 冷空气与暖湿空气在河套地区东部的渭河流域中下游交汇, 引起大范围暴雨; 冷锋移动缓慢, 直到 29 日 20 时移出陕西, 渭河流域暴雨结束。

综上所述, 此次暴雨过程为北脊南槽的环流配置, 在副高加强西伸的作用下, 其西侧来自南海的偏南气流与来自孟加拉湾的西南气流在渭河流域合并加强, 并与来自华北高压底部的东北气流带来的冷空气在渭河流域交汇, 加上渭河河谷和秦岭山脉有利地形的作用, 渭河流域出现了区域性暴雨或大暴雨。

## 4 动力场分析

### 4.1 散度场

大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<sup>[9]</sup>。为此,利用 T213 提供的分析场格点资料,计算各层散度。200 hPa 散度场,8月28日08时,位于高空急流南侧的河套地区到四川为正散度区,有两个正散度中心分别位于河套西部和东部,其中心最大值均为  $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ;28日20时,随高空急流东伸北抬,正散度区缓慢东移,量值为  $3.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐散中心位于河套东部,河套底部的渭河中下游地区到秦岭山区形成一个量值为  $2.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐散中心与暴雨区对应。

700 hPa 散度场,28日08时,四川到河套地区中北部为负散度区,有两个中心分别位于甘肃南部和陕西西南部,其中心值为  $-2.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,与700 hPa 低涡对应;另一中心( $-1.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )位于河套地区中北部,呈西南-东北向,与700 hPa 切变线对应,而渭河中下游和秦岭山区的暴雨区为正散度。28日20时,随低空急流加强北伸和低涡切变线东南移,辐合区向东南扩展,在出现暴雨的渭河中下游和秦岭之间形成  $-1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐合中心。

上述分析表明,暴雨开始前12小时,暴雨区上空高层具有强的辐散,低层辐合偏弱;暴雨开始时(28日20时),高层辐散继续增强,低层辐合明显加强。为揭示这种高层辐散、低层辐合的配置,过渭河流域暴雨中心沿 34°N 作散度经向剖面图。28日08时(图略),在  $103^{\circ}\text{E}$ ~ $108^{\circ}\text{E}$  范围存在高层强辐散、低层强辐合的配置,强辐散中心( $2.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )位于 200 hPa,强辐合中心( $-1.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )位于 850~700 hPa,无辐散层位于 500 hPa 附近,此时上升运动偏西,水汽输送较弱,暴雨未出现;28日20时(图 2),高层强辐散、低层强辐合的配置位于  $106^{\circ}\text{E}$ ~ $113^{\circ}\text{E}$  范围,强辐散中心( $2.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )下降到 300 hPa,强辐合中心( $-2.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )位于 925~850 hPa,无辐散层位于 500 hPa 以下,这表明低层辐合随低空急流和低涡发展而迅速加强,促使上升运动加强,有利于暴雨产生。此分析进一步说明,暴雨区上空强的高层辐散、低层辐合的最佳配置促使上升运动加强,在暴雨区上空激发出一个次级环流。这一次级环流的形成正是暴雨产生和维持的动力机制之一。

### 4.2 垂直速度

28日08时,700 hPa,河套西部的甘肃为上升运动区,其垂直速度( )中心位于甘南,中心最大值为  $-7.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,与低涡和切变对应;河套中部为下沉运动区,其下沉运动中心( $3.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )位于陕

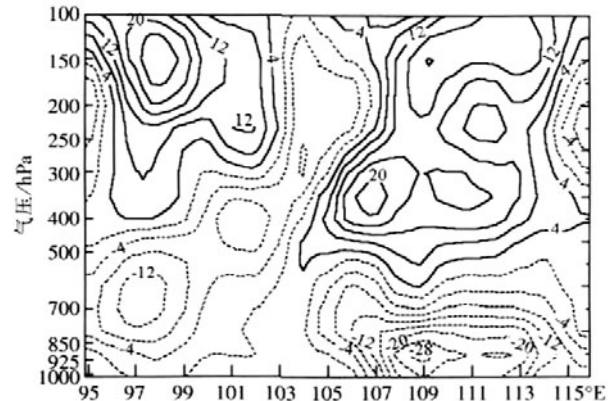


图 2 2003 年 8 月 28 日 20 时沿  $34^{\circ}\text{N}$  所作的散度垂直剖面图(单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )

西中部的黄土高原,渭河下游为下沉运动控制。到28日20时,渭河流域中下游地区开始出现降水,随低涡东移、切变线南压、低空急流北伸,整个河套地区为上升运动控制,上升运动中心( $-8.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )位于陕西中南部的秦岭山区和渭河下游,上升速度增强。

为进一步分析各层垂直运动分布情况,过暴雨中心沿  $34^{\circ}\text{N}$  作垂直速度经向剖面图。28日08时(图略),暴雨开始前,上升运动位于  $107^{\circ}\text{E}$  以西,上升运动中心( $-6.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )位于 500 hPa 附近( $105^{\circ}\text{E}$ );到28日20时(图 3),上升运动区东移且明显加强,其中心( $-9.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )移至  $108^{\circ}\text{E}$ ,并下降至 700 hPa,对应于渭河下游暴雨区。分析表明,从暴雨开始前到开始时,上升运动有一次明显加强和东移的过程,这与700 hPa 西南暖湿气流加强北伸和切变低涡东南移关系密切。

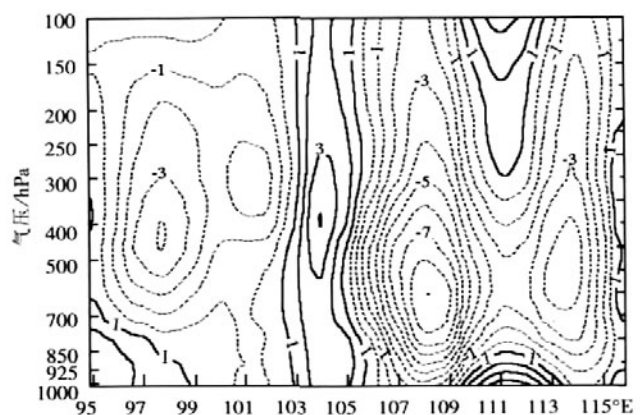


图 3 2003 年 8 月 28 日 20 时沿  $34^{\circ}\text{N}$  所作的垂直速度( $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )剖面图

从图 3 中还可看到,在  $106^{\circ}\text{E}$ ~ $110^{\circ}\text{E}$  是上升运动支,其两侧的  $102^{\circ}\text{E}$ ~ $106^{\circ}\text{E}$  和  $110^{\circ}\text{E}$ ~ $113^{\circ}\text{E}$  分别为两个下沉运动支,上升运动支与 700 hPa 的横切变线对应,两个下沉运动支分别对应 500 hPa 槽后的西北气流和华北高压的东北气流,构成渭河流域中下游一个完整的垂直次级环流,使暴雨持续。

### 4.3 对流层低层中尺度流场分析

暴雨是在有利的大尺度环流背景下由多种中尺度系统作用形成的。为了说明渭河流域暴雨的中尺度流场结构, 选用 Barnes 客观插值方法对 700 hPa 流场进行中尺度滤波分析。结果表明, 28 日 08 时, 从甘肃南部经河套中部到山西北部存在一条中尺度辐合线, 与切变线对应, 暴雨区位于此辐合线南侧; 到 28 日 20 时(图 4), 陕西西南部有一中尺度涡旋形成, 秦岭山区到渭河下游有一条由西南气流和东北气流形成的中尺度切变线, 该切变线与渭河流域的暴雨带走向一致。这说明随着 700 hPa 低空西南急流发展北伸促使原位于甘肃东南部的低涡东南移, 河套反气旋底部的东北气流与西南暖湿气流在渭河下游到秦岭山区交汇形成一条暖性东西向横切变线。

### 5 水汽条件

水汽条件是影响降水强度的关键, 暴雨发生既要有充沛的水汽, 还要有源源不断的水汽输送并在降水区附近辐合。图 5 给出了 700 hPa 水汽通量矢量及其散度分布。28 日 08 时(图 5a), 从云贵经四川到河套北部存在一个大的水汽通量矢量输送带, 水汽通量散度负值中心(辐合中心)偏西偏北; 到 28 日 20 时(图 5b), 水汽输送明显增强, 与副高西侧的西南急流加强相一

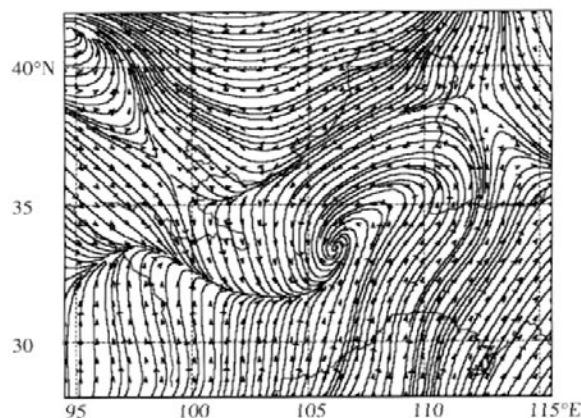


图 4 2003 年 8 月 28 日 20 时 700 hPa 中尺度流场

致, 水汽辐合区正好向东南移到渭河下游到秦岭山区之间, 水汽通量散度中心最大值为  $-2.1 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表明在渭河下游的暴雨区上空水汽明显聚集, 此次暴雨过程的水汽来自孟加拉湾和南海。同时, 分析水汽输送发现, 偏南气流将热带低压携带的暖湿空气输送到暴雨区上空, 使暴雨区上空不稳定性加大, 促使暴雨加强。另外, 分析此次暴雨过程的水汽通量及其散度的垂直分布发现, 水汽输送及其辐合主要集中在 600 hPa 层以下, 700 hPa 层最为明显, 水汽主要来自孟加拉湾和中国南海, 并随副高西侧的西南低空急流输送。

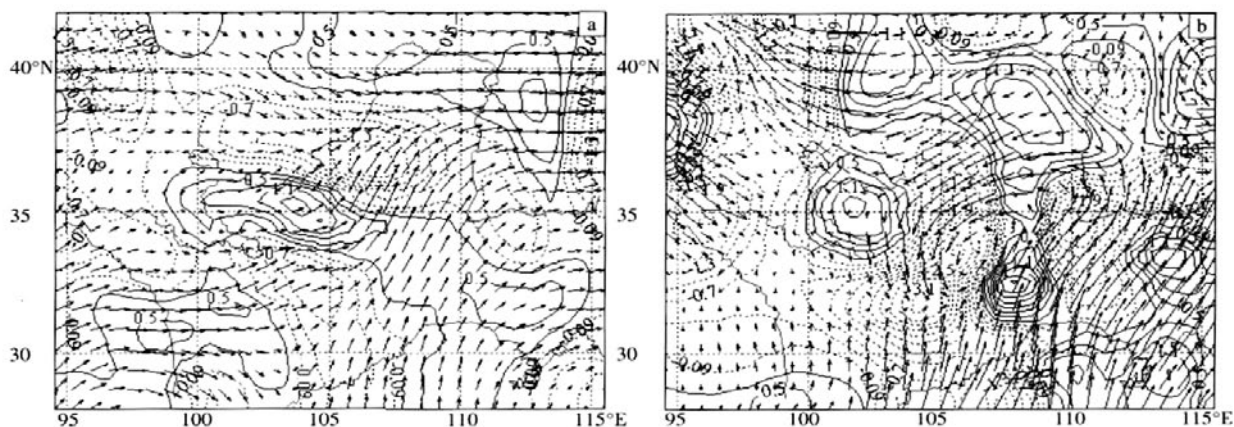


图 5 2003 年 8 月 28 日 08 时(a)、20 时 (b) 700 hPa 水汽通量(矢量, 单位为  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 及其散度(细线, 单位为  $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 分布

### 6 不稳定条件分析

研究表明<sup>[1,6]</sup>, 暴雨尤其是对流性强降水一般都产生在高温高湿并具有强位势不稳定的区域。此次暴雨发生前的 12 h, 低空西南暖湿急流发展强盛, 将暖湿气流大量输送到渭河下游和秦岭山区。28 日 08 时, 低层 850 hPa 有 28 的暖中心形成于川北到河套南部一线; 同时, 700 hPa 有一结构的 高

能舌从我国西南地区伸向渭河流域(图 6), 其大值中心(352 K)位于河套南部, 能量锋区位于甘肃中南部, 随着 500 hPa 高原槽和冷槽东南移, 高层冷平流和低层暖平流的叠加增大了位势不稳定。28 日 20 时, 随着冷空气东南移, 先前位于甘肃中南部的能量锋明显加强并移到渭河下游到秦岭山区之间(呈东西向), 这正好对应渭河流域暴雨区。当日 08~20 时, 该能量锋(等 线密集区)从河套中北部南压到河套底

部的秦岭到渭河下游,其走向由西北-东南转为西南-东北向,渭河下游的暴雨区随之转为东西向,这说明

能量锋区的移动发展与暴雨的发生发展存在较好的对应关系。

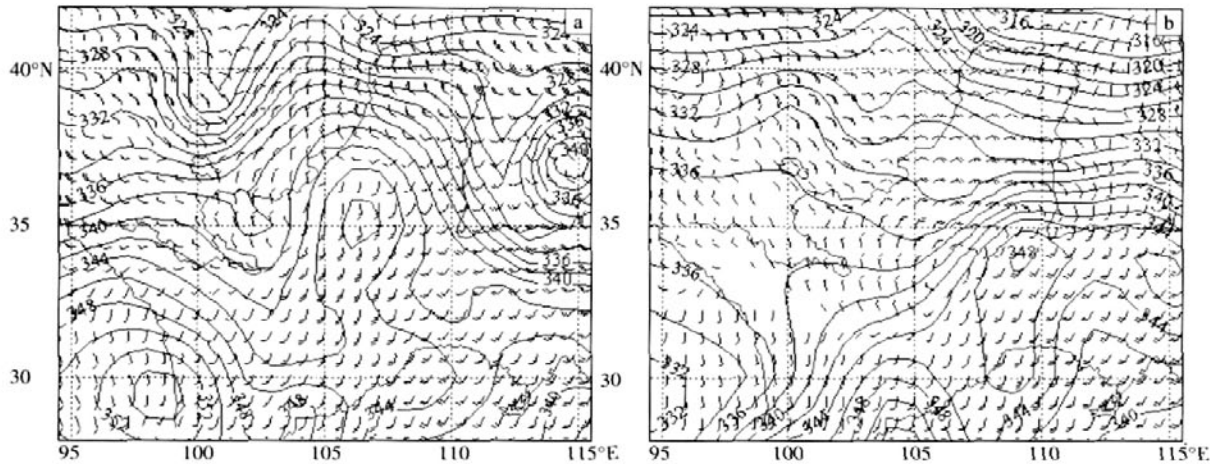


图 6 2003 年 8 月 28 日 08 时(a)、20 时(b) 700 hPa  $\theta_e$  场(K)和风场

另外,到 28 日 20 时,暴雨区上空 500 hPa 与 700 hPa 假相当位温之差[ $\theta_{se(500-700)}$ ]小于 -6,也说明大气层结强不稳定,在地面冷锋抬升作用下,不稳定能量释放而形成暴雨。

## 7 结论

通过对 2003 年 8 月 28 日出现在渭河流域的一次暴雨过程的综合分析,得出以下几点结论。

(1)这次暴雨过程是在 500 hPa 欧亚中高纬地区稳定的“两槽一脊”环流型等比较有利的天气背景条件下发生的。稳定而强盛的副热带高压、700 hPa 低涡和切变线是其主要的天气尺度影响系统。

(2)高层辐散、低层辐合的配置,强烈上升运动以及完整中尺度次级环流的形成,对此次暴雨过程的维持十分有利。

(3)大值区偏北侧的能量锋区与此次暴雨落区具有较好的对应关系,可在实时预报业务中作为暴雨

落区预报的一个着眼点。

(4)此次暴雨过程的水汽主要来源于孟加拉湾和南海,副热带高压西侧的西南低空急流是此次暴雨过程的主要水汽输送途径。另外,低层水汽通量和水汽辐合均较大,使得无论暴雨发生前还是发生过程中,水汽条件和水汽输送条件均较为有利。

## 参考文献:

- [1] 邓子风.西北暴雨[M].北京:气象出版社,1992:3-61.
- [2] 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[J].大气科学,2004,28(5):747-761.
- [3] 李晓霞,寿绍文,张铁军,等.‘8119’西北东部大到暴雨诊断分析和数值模拟[J].气象,2006,32(2):81-86.
- [4] 杜继稳,梁生俊.秦岭山脉与偏南急流暴雨[J].西北大学学报(自然科学版),1996(增刊):332-337.
- [5] 施望芝,毛以伟,谌伟,等.台风“云娜”降水云区中单站大暴雨诊断分析和预报[J].暴雨灾害,2007,26(1):46-51.
- [6] 陶诗言,倪允琪,赵思雄,等.1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M].北京:气象出版社,2001:47-61.

# Synthetic Analysis of a Flood Heavyrain Event in Weihe Basin in 2003

LIANG Sheng-jun

(Shanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015)

Abstract: In this paper, a heavy rain in Weihe basin on 28th august 2003 is studied by the synoptic meteorology and dynamical diagnosis analysis. The results show that the strong west Pacific subtropical high is beneficial to heavy rain to continue. The vortex and shear on 700 hPa level caused the heavy rain directly. There are the strong ascending motion and the structure with divergence on upper level and convergence on low level over the rainfall area to make the meso-scale secondary circulation in favor of the heavy rain maintaining. There are a strong energy front, convective instability and the classical structure of  $\theta_{se}$  in the rain area. The vapor is from the Bay of Bengal and the South China Sea.

Key words: Flood heavy rain; Diagnosis; Secondary circulation; Energy front