

## 2002年6月8日佛坪突发性特大暴雨天气过程分析\*

刘勇 张科翔

(陕西省气象台,西安 710015)

### 摘要

对2002年6月8日发生在陕西佛坪的一次特大暴雨过程进行了综合分析,结果表明:500 hPa槽前的中尺度切变线是直接影响暴雨产生的中- $\alpha$ 尺度系统,位于台湾岛以东洋面台风“浣熊”外围的低空偏东急流从海上一直延伸到陕西,成为特大暴雨的主要水汽来源;华北高脊稳定,使得高原低值系统移速减慢、停滞,有利于特大暴雨的形成;急流次级环流为特大暴雨提供了持续强劲的上升运动;在地面中尺度风场中,两个中- $\beta$ 尺度气旋稳定少动,与地面降水强中心相对应;在红外云图上,中- $\beta$ 尺度对流云团呈椭圆状,云顶亮温  $T_{BB}$ 在  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ~  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间。中- $\beta$ 尺度对流云团的强弱变化与次级环流的强弱有直接的关系。

关键词:特大暴雨 中尺度切变线 台风 急流次级环流 中- $\beta$ 尺度对流云团

### 引言

局地突发性特大暴雨形成机理问题一直是人们关注的对象。大量的研究表明<sup>[1~6]</sup>:高低空急流、远距离台风、弱冷空气等都对暴雨的产生起着重要作用。位于西北地区东部的秦巴山区时常出现突发性局地特大暴雨天气<sup>[7,8]</sup>,给当地造成了巨大的财产损失和人员伤亡。虽然对陕西南部暴雨的成因有了初步了解,但仍有许多未解因素。加强对秦巴山区强天气的研究非常重要。

2002年6月8~9日陕西境内出现大范围的暴雨天气,有33个县24 h降水量达到暴雨或大暴雨,陕西南部共有4个县(27个雨量站)24 h降水量超过100 mm,其中最大1 h降水量为104.4 mm。暴雨中心位于佛坪,测站24 h降水为210 mm,局地降水297.4(水文站实测)和461.6 mm(调查记录),实际强降水时间约为8~10 h。子午河两河口水文站9日11:00(北京时,下同)实测洪峰流量达  $6270\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (水位变幅8.69 m),洪水重现期接近1000年一遇;旬河柴坪水文站9日8:00开始涨水,12:48实测洪峰流量达  $4920\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (水位变幅6.98 m),洪水重现期接近1000年一遇。由于佛坪县地处秦岭腹部,山多河道窄,山洪爆发造成450人失踪死亡和数亿元的财产损失。西安地区也普降暴雨,其中24 h最大降水长安为90.5 mm、蓝田为84.2 mm;蓝田灞源雨量点日降水量143 mm(水文站记录),是西安地区有纪录以来最严重的一次暴雨洪灾过程。

这次强降水过程出现的时间早,强度大,为历史同期所罕见。在没有副热带高压和登陆台风影响的情况下,为什么会出现如此强的天气?本文利用天气图、卫星云图、雷达回

\* 2003-01-15收到,2004-06-06收到再改稿。

波、地面风场资料和物理量诊断方法综合分析了这次过程, 试图揭示出此次中尺度强天气的内部结构、形成机理及中尺度特征。

## 1 大尺度环流背景

### 1.1 天气形势分析

受新疆暖高压影响, 6 月 1~7 日陕西出现了持续性高温天气。8 日 20:00 前受高原低槽影响, 陕西北部出现区域性暴雨天气, 但中部和南部无大降水出现。8 日 20:00 的 500 hPa 图上(图 1a), 东亚环流形势为两槽一脊, 两条槽线分别位于青藏高原东部  $100^{\circ}\text{E}$  和日本国  $135^{\circ}\text{E}$  附近, 我国华北地区为一高压脊。陕西处在高原槽前西南气流控制中。从风场变化中发现在高原槽前约 5 个经度处存在着一条南北向的中- $\alpha$  尺度切变线, 切变线位于宝鸡—成都一带。切变线东西两侧分别为西南风和西风, 温差较小, 约为  $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ , 陕西中南部正好位于中尺度切变线东侧。高原槽与中尺度切变线之间成为弱冷空气活动区域, 高原槽前相对较暖湿的空气却是中尺度切变线后的一股弱冷空气, 这股弱冷空气通过中尺度切变线源源不断的向东输送, 是陕西中南部强天气的直接影响系统。研究表明, 影响强暴雨过程中, 西风带中的冷空气往往比较弱。影响这次过程的弱冷空气是高原槽前的暖湿气流, 是比较特殊的一种情况。

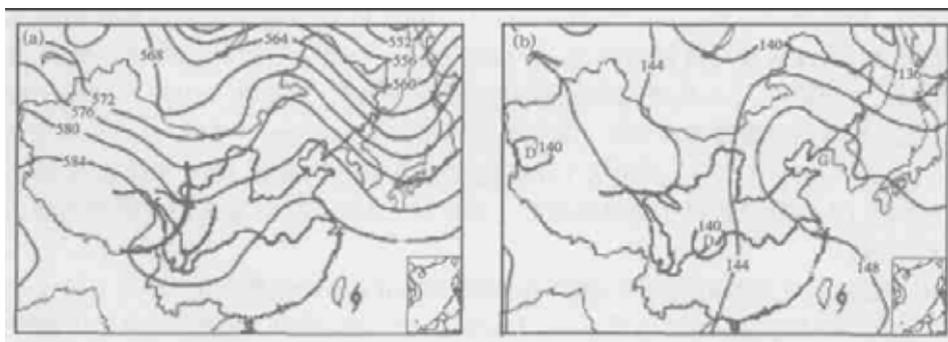


图 1 2002 年 6 月 8 日 20:00 (a) 500 hPa 和 (b) 850 hPa 高空图  
(粗实线为槽线; 粗虚线为切变线)

8 日 08:00 的 700 hPa 图上, 华北高压向南移动, 在我国东部形成阻塞高压, 使得高原低值系统移速减缓, 有利于特大暴雨的形成。20:00 高原成都东部低涡前有两股气流: 一股是来自孟加拉湾的西南气流, 一股是来自东海、南海的东南气流。这两股气流在湖北合并后一直吹向陕西, 其中恩施—安康—西安有一条风速为  $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的南风急流, 为陕西南部 and 中部带来充沛的水汽。

850 hPa 图上(图 1b), 西南涡处在发展阶段, 东南气流控制了我国  $100^{\circ}\text{E}$  以东的大部分地区, 上海—蚌埠—郑州—西安有一条风速  $\geq 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的东南大风带, 郑州—西安达到急流标准, 最大风速为  $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (郑州)。

200 hPa 图上, 8 日 20:00 高原中东部低压槽前的高空西南气流已由原来的  $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

增大到  $30 \sim 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 高空急流位于酒泉—呼和浩特—北京—汉城—东京一线, 急流的水平尺度为几千公里。陕西位于高空急流入口区右侧辐散区内, 有利于不稳定天气的发生和发展。

## 1.2 物理量结构分析

### 1.2.1 涡度 散度场

8日20:00, 850~500 hPa 陕南大部分地区为正涡度区, 但量值较小。9日08:00, 850~500 hPa 正涡度强度明显增大。正涡度的增长, 说明有气旋性环流的生成和发展, 有利于对流的发展。

8日20:00, 陕西中南部 850~700 hPa 均为辐合区, 最强辐合在 850 hPa, 散度值为  $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 200 hPa 为辐散区。9日08:00, 陕西中南部 850 hPa 辐合加强, 散度值为  $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 而 300 hPa 为辐散区。从散度场的变化情况看, 低层辐合在 8日20:00 后是逐渐加强的。

### 1.2.2 能量分析

8日20:00 的  $\theta_{sc}$  场, 850~500 hPa 陕西南部  $\theta_{sc}$  值较大, 陕南暴雨区与陕西南部  $75^\circ \text{C}$  高能区相对应。从位势稳定度来看, 暴雨区  $\Delta \theta_{sc(500-850)} < 0$ , 有利于对流的发生。

### 1.2.3 水汽条件

8日20:00 500 hPa 水汽通量图(图略)上, 从孟加拉湾至高原有一条水汽通道, 通向陕南地区, 量值为  $40 \sim 60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。700 hPa 南风急流为陕西南部和中部带来充沛的水汽, 水汽通量在陕西南部为  $80 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。850 hPa 水汽通量图上(图 2a), 主要是东路水汽通道向陕西中南部输送水汽, 沿东海—上海—蚌埠—郑州—西安, 是这条水汽通道量值较大区, 最大值在郑州为  $180 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 西安为  $140 \sim 160 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于这个水汽通量大值是向西输送, 蓝田、佛坪上空的水汽通量不断加大, 为强暴雨提供了充沛的水汽。700 hPa、850 hPa 两层水汽成为特大暴雨的主要水汽来源。

从各层的水汽通量散度来看, 陕西中南部 500 hPa 水汽通量散度为  $1 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 700 hPa 为  $-2 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而 850 hPa(图 2b) 陕西中南部量值

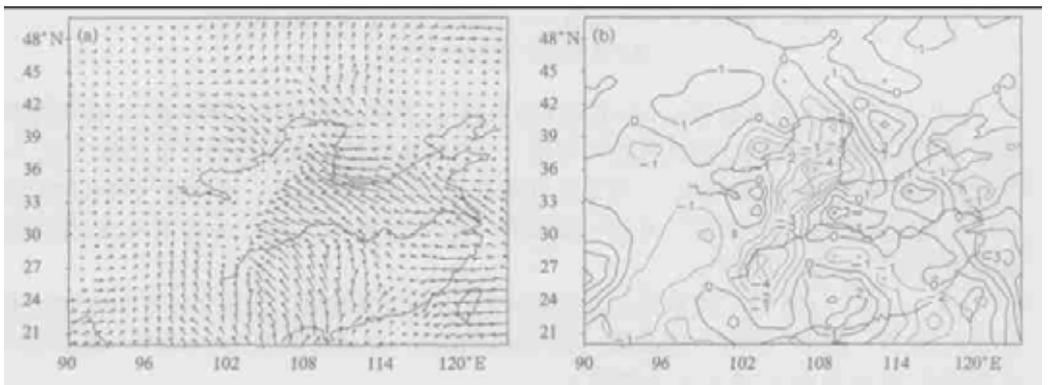


图 2 2002 年 6 月 8 日 20:00 的 850 hPa(a) 水汽通量(单位:  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和(b) 水汽通量散度(单位:  $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

为  $-4 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 辐合中心与暴雨区相对应。700 hPa 和 850 hPa 水汽通量的较强辐合表明这两支低空急流为陕西中南部区域性暴雨或特大暴雨提供了大量的水汽, 而 850 hPa 东南急流带来的水汽是佛坪强暴雨的主要贡献者。

## 2 几支急流在暴雨过程中的作用

这次过程受到 200 hPa 高空急流、700 hPa 南风急流和 850 hPa 东南急流的共同影响, 特大暴雨的时空分布具有明显的中尺度特征, 因此分析高低空急流对暴雨的作用尤为重要。

除了上面提到的 700 hPa 和 850 hPa 两支低空急流为陕西中南部区域性暴雨或特大暴雨的产生提供了大量的水汽之外, 这里主要讨论高、低空急流耦合对暴雨的作用。

6 月 8 日 20:00, 200 hPa 高空急流位于酒泉—呼和浩特—北京—汉城—东京一线, 急流的水平尺度为几千公里。850 hPa 东南急流水平尺度为 1500 km, 700 hPa 南风急流水平尺度较小, 为 500 km。850 hPa 东南急流与 700 hPa 南风急流相会在西安地区(图 3a)。200 hPa 高空急流尺度较大, 陕西位于高空急流入口区右侧, 反气旋环流中。沿  $108^\circ \text{E}$  散度剖面图(图 3b)表明, 在 200 hPa 高空急流轴入口区右侧( $31^\circ \sim 41^\circ \text{N}$ ), 高空辐散, 散度值为  $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , 这个区域有利于对流的发生发展; 而入口区左侧( $41^\circ \sim 48^\circ \text{N}$ ), 高空辐合, 散度值为  $-6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。在 850 hPa 东南急流与 700 hPa 南风急流轴左前方是正切变涡度区, 在这个区域内( $33^\circ \sim 36^\circ \text{N}$ ) 700 ~ 850 hPa 都有强辐合运动, 散度值为  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。

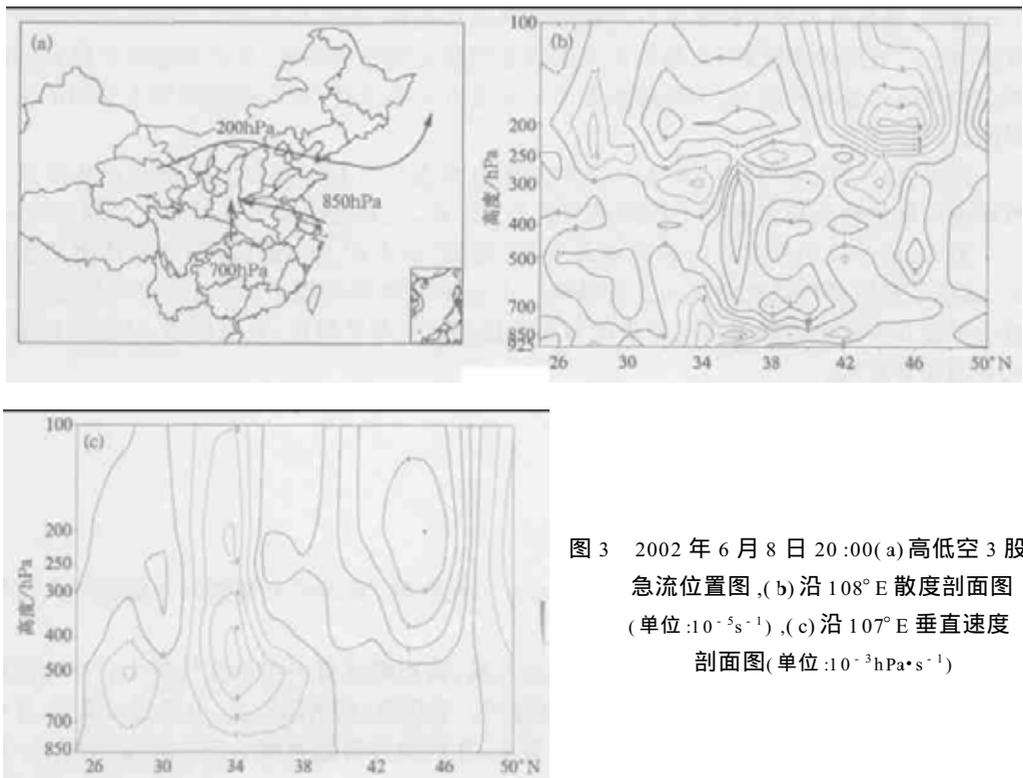


图 3 2002 年 6 月 8 日 20:00 (a) 高低空 3 股急流位置图, (b) 沿  $108^\circ \text{E}$  散度剖面图 (单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ), (c) 沿  $107^\circ \text{E}$  垂直速度剖面图 (单位:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

强暴雨中心佛坪和西安地区正好位于高空急流入口区右侧和低空急流轴左方或左前方,当低空辐合区与高空辐散区重叠时,对流得以产生和发展,激发了次级环流的生成。

由于 200 hPa 高空急流和 850 hPa 低空急流尺度比较大,因此急流次级环流影响暴雨区的时间长,强度大。沿  $107^{\circ}\text{E}$  垂直速度剖面图(图 3c)表明,200 hPa 高空急流轴( $40^{\circ}\text{N}$ )入口区南北两侧存在着次级环流,在  $31^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$  之间为上升气流区,最大上升速度位于 400~500 hPa,达到  $-4\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;在  $41^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$  之间为下沉气流区,在 400 hPa 以上最大下降速度为  $4\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。佛坪和西安地区位于两支低空急流轴线左前方,在这个区域有强烈的上升运动。8 日 20:00 佛坪附近 700~300 hPa 垂直速度达到  $-6\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,急流次级环流为特大暴雨提供了持续强劲的上升气流,创造了有利的动力条件。另外,高空急流为暴雨区带来西北和东北冷空气,而 700 hPa 和 850 hPa 低空急流则带来暖湿气流,造成局地锋生和不稳定能量增加,有利于强对流的发展。

### 3 台风的作用

由于这次过程出现在 6 月初,副热带高压对我国天气还没影响,只有台风“浣熊”在台湾岛以东洋面活动。在以往的研究中,注意到了登陆台风对陕西暴雨的影响<sup>[9]</sup>,但是在海上活动的台风对西北地区暴雨的影响却很少考虑。通过分析,发现台风“浣熊”虽然与陕西相距数千里,可是它对佛坪特大暴雨的影响却是非常重要的。

首先,台风“浣熊”北侧 850 hPa 低空东南气流与影响大陆的东南气流相结合,通过上述路径,把热带风暴中的暖湿气流输送到陕西中南部,成为暴雨主要水汽来源。东南急流从海上一直延伸到陕西,向暴雨区不断输送不稳定能量和热量,并且引起低空风场的强辐合和暴雨区强水汽辐合,为强降水创造了非常有利的条件,是造成局地特大暴雨的主要原因之一。

其次,台风“浣熊”北侧 850 hPa 低空东南气流与 200 hPa 高空急流耦合产生急流次级环流为佛坪特大暴雨提供了持续强劲的上升运动,也是造成特大暴雨的主要原因之一。

另外,由于位于台湾岛以东洋面的台风“浣熊”由南向北移动,使得华北高脊更加稳定,减缓了高原低值系统向东的正常移动。由于中低纬形势稳定,高原槽移动非常缓慢,沿中尺度切变线上发展起来的中尺度对流系统移速也非常缓慢,甚至停滞,从而对形成特大暴雨非常有利。

### 4 中尺度分析

#### 4.1 地面风场分析

分析陕西中南部地面测站每小时的自记风场资料,发现特大暴雨区与地面中尺度气旋相对应。

8 日 22:00 陕西中部以东北风为主,在长安、蓝田附近有一中尺度气旋 I。在陕南佛坪、宁陕之间有一个气流辐合点 II,主要以西风、东北风、东南风为主,中尺度气旋 I、II 中心水平尺度约为 40~60 km。中尺度气旋 I、II 的位置恰好在两支低空急流左前方。由

于低空急流强度的变化直接影响到次级环流的变化,因此分析低空急流的变化情况可以了解到次级环流对产生特大暴雨的作用。位于秦岭东部的华山站海拔 1997 m,与佛坪大致在同一纬度。通过高山站华山的风向风速变化可以了解到低空急流的变化情况。23:00(图 4a),陕西中部和南部的两个中尺度气旋有所发展。气旋 I 辐合加强,蓝田东南风由 22:00 的  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  增大到  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。气旋 II 已形成,来自各个方向的气流汇集在佛坪、宁陕周围。23:00 华山东南风由 22:00 的  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  增大到  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,说明低空东南急流有一个明显的激增过程,导致上升运动增强,使得蓝田、佛坪周围的两个中尺度气旋辐合加强。位于佛坪东部的蓝田,缺少冷空气的参与,气旋 I 没有强降水出现。而气旋 II 正好在 500 hPa 中尺度切变线附近,中尺度切变线后部的弱冷空气与低空 700~850 hPa 急流带来的暖湿气流交汇在一起,加上次级环流产生强劲上升运动的配合,导致了强暴雨发生。

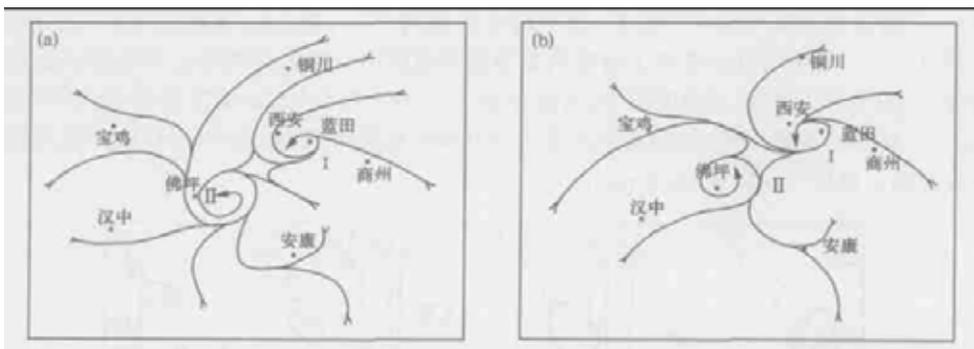


图 4 2002 年 6 月 8 日 23:00(a) 和 9 日 04:00(b) 地面流场图

8 日 24:00 至 9 日 02:00 两个中- $\beta$  尺度气旋稳定少动(图略),华山偏东风速为  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,850 hPa 东南急流仍然很强,在这段时间里气旋 II 造成强降水天气。03:00(图略)位于佛坪的气旋 II 开始减弱,佛坪的风速减小。华山的东南风在 03:00 已减小到  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,东南急流已明显减弱,暴雨强度也因此减弱。说明东南急流对佛坪强暴雨的产生起着重要作用。04:00(图 4b),华山东南风已降为  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,陕西中部气旋 I 继续维持。由于 500 hPa 中尺度切变线东移,西北冷空气东移,陕西中部气旋 I 局地锋生增大,降水也开始增大,出现短时暴雨天气。气旋 II 明显减弱,基本上是西南气流形成的气旋,缺少来自西北、东北方向的冷空气的参与。05:00~06:00,华山站风向已转为南风,说明东南急流消失,而南风增强。06:00 随着西北气流增强,气旋 I 东移,演变为一条西北风和偏东风的辐合线,降水强度继续维持较高水平。陕西南部的中尺度气旋 II 虽然存在,但强度较小,强降水结束。

从地面中尺度风场的演变情况来看,陕南地区强降水主要是位于佛坪附近的中尺度气旋 II 造成的,西安地区强降水由中尺度气旋 I 引起的。这两个中尺度气旋是由急流次级环流引起的,但中尺度气旋 I、II 始终维持相对独立,没有产生合并,中尺度特征明显,并在相对应的区域内产生强降水。由中尺度气旋 II 的生命史和佛坪地面逐时降水记录来看,此次过程主要从 8 日 22:00 开始至 9 日 06:00,历时 8 h,局地出现 400 mm 的降水,强度非常强。

## 4.2 卫星云图分析

分析每小时的 GMS-5 红外云图资料,发现陕南佛坪特大暴雨与中- $\beta$  尺度对流云团的发生发展密切相关。

8日20:00的红外云图上,高原东部有一条南北向冷锋云系,水平尺度约为2000 km,移动缓慢,冷锋南部对流云发展旺盛,冷云面积较大,云顶亮温  $T_{BB} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,强度较强。与天气图对照,这条锋面云系与500 hPa高原槽相对应。此时,在中尺度切变线上已有对流云生成,分别位于陕西南部和四川中部,水平尺度较小。陕西南部A对流云团的位置就在佛坪西北部,云顶亮温  $T_{BB} = -51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。6月8日21:00(图5a)中尺度切变线上有3个中尺度对流云团发展起来。A云团水平尺度发展为70~80 km,云顶亮温  $T_{BB} = -53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,呈圆状,略向东北移动。在四川中部的B云团与西南涡有密切关系。22:00(图5b)A云团云顶亮温  $T_{BB} = -58\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,水平尺度增加到90~100 km,佛坪22:00~23:00降水32.1 mm。与中尺度切变线上对流云团发展形成鲜明对照的是高原东部冷锋云系开始减弱,-50 $^{\circ}\text{C}$ 冷云面积大幅度减少,云体分裂。23:00(图5c)A云团发展迅速,云顶亮温  $T_{BB} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,呈椭圆状,长轴水平尺度为200 km,短轴尺度为150 km,长轴方向为西南-东北向。佛坪1 h降水18.3 mm。

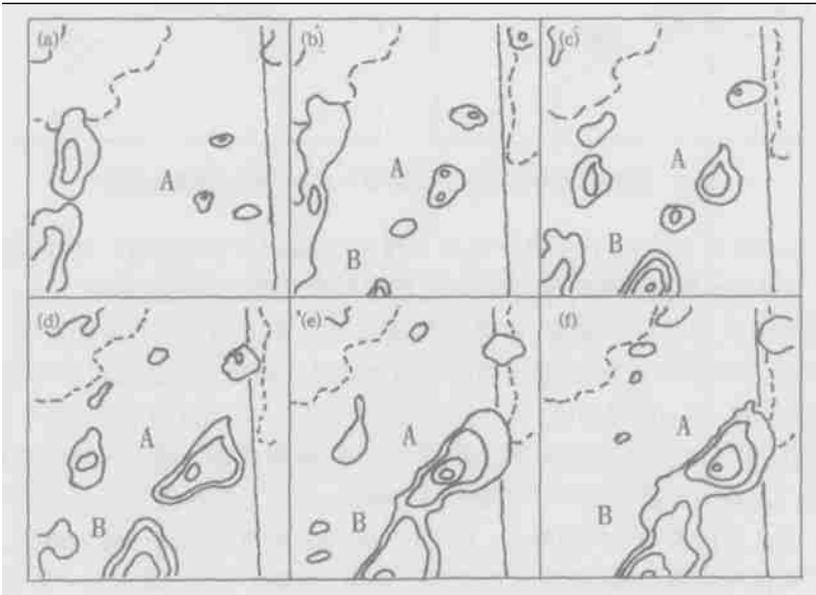


图5 2002年6月8日21:00至9日02:00的GMS-5红外云图  
(图中给出低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 $T_{BB}$ 等值线,间隔为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;图中虚线代表黄河)

9日00:00(图5d)A云团发展旺盛,长轴尺度为230 km,短轴尺度为180 km,云顶亮温  $T_{BB} = -66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,云团 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云面积约为 $3500\text{ km}^2$ ,佛坪1 h降水12.6 mm。01:00(图5e)A云团与B云团外围云系相碰,强中心位置基本没变。A云团长轴尺度为280 km,短轴尺度约为200 km。此时云顶亮温下降, $T_{BB} = -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云面积增大到 $16500\text{ km}^2$ 。01:00~02:00佛坪降水52.8 mm,降水最大。02:00(图5f),A云团水平尺

度基本未变,云顶亮温  $T_{BB} = -64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云面积增大到  $22000\text{ km}^2$ ,云团沿着东北方向非常缓慢的移动。02:00~03:00 佛坪降水为  $19.0\text{ mm}$ 。03:00(图略) A 云团云顶亮温  $T_{BB} = -64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,云体结构紧密, $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云面积下降至  $18900\text{ km}^2$ ,03:00~04:00 佛坪降水  $21.4\text{ mm}$ 。随后,陕南中尺度对流云团向东北方向移动。佛坪降水也逐渐减弱。但 A 云团东移至西安上空重新得到发展,云顶亮温  $T_{BB}$ 在  $-60\sim -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,造成西安地区降水强度增大。

通过分析 8~9 日红外云图的演变过程,可以看出造成佛坪特大暴雨的中- $\beta$  尺度对流云团结构紧密,形状呈椭圆状,长轴为东北-西南向,移动缓慢,云团边界清楚,冷云( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )面积较大。

#### 4.3 雷达回波分析

位于陕西中部的西安 713 雷达( $5\text{ cm}$ )观测到了一部分资料。雷达资料表明,强回波的大部分位于佛坪的上游地区,是造成佛坪重灾的主要原因。

6 月 8 日 19:51 的 PPI 回波(图 6a)表明,陕西中部有带状的对流云回波,回波长  $80\text{ km}$ ,宽  $40\text{ km}$ ,强度  $35\sim 40\text{ dBz}$ ,云体高度  $10\text{ km}$ , $30\text{ dBz}$  的高度在  $6\text{ km}$ 。陕南佛坪(方位  $230^{\circ}$ ,距离  $120\text{ km}$ )西北部有一块状对流回波生成,水平尺度为  $30\text{ km}$ ,云体高度  $10\text{ km}$ ,回波强度  $35\sim 40\text{ dBz}$ , $40\text{ dBz}$  的高度在  $4\text{ km}$  左右。23:00(图 6b)这两块对流云已合并,合并后强回波面积大增, $25\text{ dBz}$  回波覆盖面积约为  $4900\text{ km}^2$ 。佛坪县城位于带状回波的东南角上,回波强度为  $35\sim 40\text{ dBz}$ , $40\text{ dBz}$  高度为  $7\sim 8\text{ km}$ 。位于陕南的带状回波中有多个强对流单体在发展,云顶高度达到  $13\sim 14\text{ km}$ 。带状回波区域内任意方位的雷达高显(RHI)资料表明,强回波主要位于佛坪的北部山区,并有多数对流单体发展旺盛,形成多个强暴雨中心,造成佛坪和上游地区降水量超常。由于佛坪的上游地区在秦岭山脉的迎风坡,大面积强降水沿秦岭南坡汇聚冲下山来,给佛坪县和宁陕县的部分地区带来了巨大灾难。

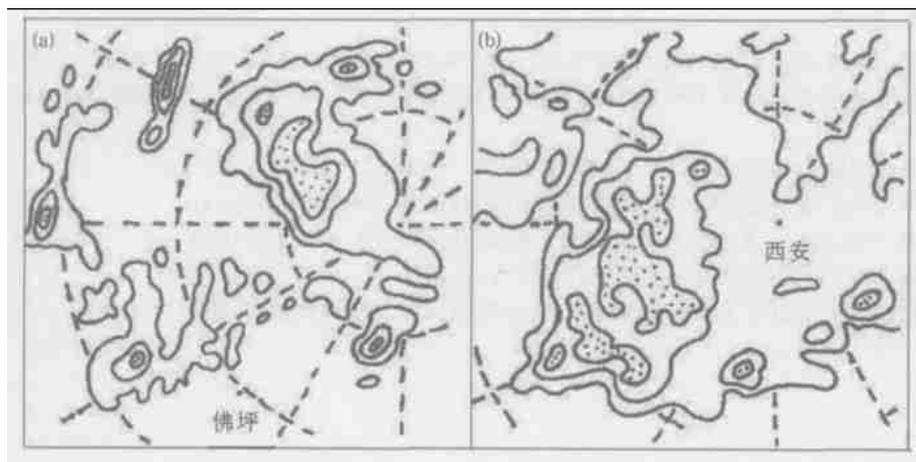


图 6 2002 年 6 月 8 日(a)19:51 和(b)23:00 雷达 PPI 回波图

(每圈半径  $60\text{ km}$ ,回波强度按等值线  $10\sim 15\text{ dBz}$ 、 $20\sim 25\text{ dBz}$ 、 $30\sim 35\text{ dBz}$  的顺序判断)

## 5 结论与讨论

(1) 500 hPa 高原槽前的中尺度切变线是此次过程的直接影响系统。高原槽前相对较暖湿的空气是中尺度切变线后的一股弱冷空气,与台风“浣熊”外围相联系的来自热带低空东南急流相互作用,因此产生的暴雨强度远比一般中纬度系统强。

(2) 位于台湾以东洋面的台风“浣熊”虽然与陕西相距甚远,但 850 hPa 台风外围的东南急流从海洋一直延伸到陕西,向暴雨区不断输送热量、动量和水汽,对特大暴雨形成十分重要。其次台风在北上的过程中,使得中低纬形势稳定,造成高原东侧暴雨系统移速减慢,停滞,从而有利于形成大暴雨。

(3) 急流次级环流控制着中尺度对流风暴的生成和维持。急流次级环流提供了特大暴雨所需的持续强劲上升运动,并导致地面风场出现中尺度气旋。地面上两个中- $\beta$  尺度气旋稳定少动,相对独立,并在相对应的地面区域内产生大暴雨中心。850 hPa 东南急流风速变化很不均匀,有明显的日变化。

(4) 沿 500 hPa 中尺度切变线上发展起来的中- $\beta$  尺度对流云团,云顶亮温在发展旺盛期为  $-60 \sim -70^{\circ}\text{C}$ ,云体呈椭圆状,结构紧密,移动缓慢。雷达回波显示在佛坪及北部的带状回波中,有多个强对流单体在发展,云体高度为 13~14 km,回波强度 40 dBz 左右。

(5) 仅从雷达回波和卫星云图特征来看,很难与如此强的降水联系在一起。了解暴雨系统的内在结构,尤其是水汽条件,对内陆地区来说是预报特大暴雨的关键。

## 参考文献

- 1 陆尔,丁一汇.1991年江淮持续性特大暴雨的夏季风活动分析.应用气象学报,1997,8(4):316~324.
- 2 丁治英,张兴强,何金海,等.非纬向高空急流与台风远距离中尺度暴雨的研究.热带气象学报,2001,17(2):144~145.
- 3 张维桓,董佩明,沈桐立.一次大暴雨过程中急流次级环流的激发及作用.大气科学,2002,24(1):45~57.
- 4 张顺利,陶诗言,张庆云,等.1998年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征.应用气象学报,2001,12(4):442~457.
- 5 孙建华,赵思雄.登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究.大气科学,2000,24(2):223~237.
- 6 朱官忠,赵从兰.登陆北上热带气旋的特大暴雨落区探讨.气象,1998,24(11):16~21.
- 7 赵世发,王俊,周军元,等.陕南两次罕见的特大暴雨对比分析.气象,2001,27(10):28~31.
- 8 周全瑞.“83.7”陕西大暴雨的初步分析.陕西气象,1983,12:5~9.
- 9 刘子臣,梁生俊,张健宏.登陆台风对黄土高原东北暴雨的影响.高原气象,1997,16(4):402~409.

## ANALYSES OF AN ABRUPT HEAVY RAINSTORM IN FUPING ON JUNE 8 , 2002

Liu Yong Zhang Kexiang

(*Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015*)

### Abstract

Systematically analyses were carried out for an abrupt heavy rainstorm in Fuping of Shaanxi province on June 8 , 2002 . The results show that a meso-scale shear line lying in front of 500 hPa trough is the meso-scale system that causes the rainstorm . Southeast jet outside typhoon named Coon located in the ocean surface on the east of Taiwan , extended to Shaanxi province from the sea , and supplied the moisture for the rainstorm . The Huabei anti-cyclonic ridge blocked off the eastward movement of rainstorm from the Qinghai Xizang Plateau and slowed the local rainstorm . Jet sub-circulation supplied a continuous and powerful updraft . In the low-level wind field , two meso-scale cyclones were stable and still , and corresponding to the surface heavy rainfall center . On the infrared images , meso-scale convective cloud clusters were like an ellipse . The brightness temperature in the cloud top ranged from - 60 to - 70 °C . The strength variation of meso-scale convective cloud clusters is largely related to the strength of sub-circulation .

**Key words :** Heavy rainstorm Meso-scale shear line Typhoon jet sub-circulation Meso-scale convective cloud clusters