

文章编号: 1006-4354 (2005) 04-0009-04

2004 年 6 月 29 日西安市突发性暴雨成因分析

井 喜, 薛凤英, 艾丽华, 刘慧敏, 贺 宇, 朱雪峰

(榆林市气象局, 陕西榆林 719000)

摘 要: 利用天气学原理对 2004-06-29 西安市突发性大暴雨的成因进行了诊断分析。结果表明: 造成西安市突发性大暴雨的中尺度强对流云团是由西风带云系和副热带云系相互作用形成的, 对流不稳定条件在暴雨前 6 h 形成, 水汽输送条件的形成和暴雨的发生是同步的, 是预报的难点。对流层中上层新疆槽的东移发展、700 hPa 银川至兰州切变线的东移、850 hPa 新生的暖湿横切变和冷式切变在暴雨区形成交汇、配合 850 hPa 中尺度锋生和地面东西两路冷锋对暴雨区暖湿空气形成夹挤抬升, 使西安同时具备了产生突发性暴雨的强上升运动条件和不稳定能量集中释放条件。

关键词: 西安市; 突发性暴雨; 诊断分析; 中尺度锋生

中图分类号: P458.121.1 **文献标识码:** B

2004-06-29—30, 晋、陕、豫北、河北普降中雨, 在天气尺度中雨带上出现陕西关中中尺度暴雨中心、豫北中尺度暴雨中心、河套东黄河沿线中尺度暴雨中心。其中 2004-06-29 下午陕西关中中尺度暴雨中心在西安市周至县九峰乡, 1 h 降水量达到 197 mm, 长安站 3 h 降水量达到 104 mm, 局地还出现 8~12 级瞬时大风。由于暴雨来势猛, 造成多处山体滑坡, 大量民房进水, 经济损失严重。对于关中暴雨中心, 由于 29 日 08 时物理量的表现并不明显, 无论 T213 雨量预报、日本 24 h 雨量预报、各级台站 24 h 降水预报, 都是失败的, 因此成为这类暴雨的预报难点。为什么在天气尺度中雨带上会出现多个中尺度暴雨中心? 本文对陕西关中强降水成因进行分析, 加深对陕西突发性暴雨的认识, 提高预报水平。

1 暴雨系统卫星云图分析

从每小时一次的 Goes-9 卫星红外云图上可以清晰地看到, 直接造成西安市暴雨的中尺度强对流云团是由西风带云系和副热带云系相互作用而产生的。从图 1 可见, 29 日 12 时生成三条云带: 位于贝湖—民勤—西宁一线的高空槽云系, 位于平凉—川西一线与对流层低层切变线对应的西

风带对流层低层切变云系, 位于运城—南阳—武汉—海丰和台风云系相连的副热带云系。15 时, 西风带对流层低层切变云系东移, 并在关中西部生成云顶红外亮温为 -51°C 、宽 81 km、呈块状的中尺度对流云团; 组成副热带云系的对流单体发展, 对流单体增多, 云带变宽, 并在豫西生成云顶红外亮温分别为: -65°C 、 -60°C , 尺度在 200 km 左右的两块中尺度对流云团。16 时, 豫西中尺度对流云团向西偏北方向发展, 在西安市与西风带中尺度对流云团碰撞合并, 激发生成云高达 14 km、范围为 800 km^2 的强对流云团, 西安市降雨开始。17 时, 云团范围扩大, 面积达 $22\ 000\text{ km}^2$ 。之后, 云团向南偏东方向移动且发展, 20 时云顶红外亮温达到 -72°C 。21—24 时云团在陕南和湖北西部发展成为面积达 $40\ 000\text{ km}^2$ 、云顶红外亮温为 -70°C 的中尺度强对流云团, 也造成当地的暴雨天气。30 日 01 时云团开始消散, 降雨结束。中尺度强对流云团生命史大约 9 h。

2 环流背景和主要影响系统

28 日 20 时, 对流层中上层我国 35°N 以南大部分地区为大陆高压控制, 东亚为槽区, 大陆高压和东亚大槽构成西高东低形势。亚洲对流层中

收稿日期: 2005-03-02

作者简介: 井 喜 (1957-), 男, 陕西米脂人, 高级工程师, 主要从事短期天气预报与研究。

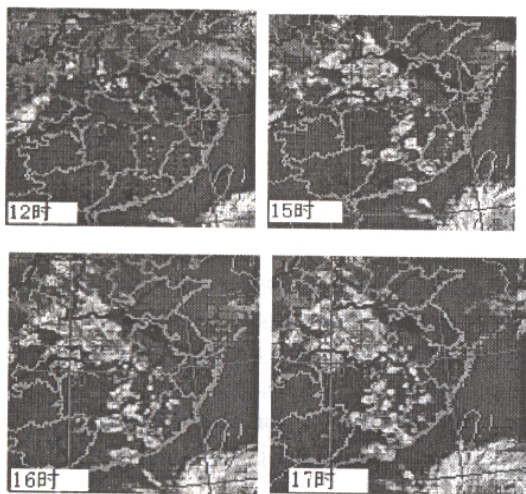


图1 2004-06-29 Goes-9 卫星红外云图云系演变

上层西风带 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 为两槽一脊形势, 新疆、东亚为槽区, 贝湖至河套为脊区。28日20时至30日08时, 随着新疆槽和槽前西南急流的东移发展, 西南急流右侧陕西关中反气旋环流得到增强。28日20时, 亚洲对流层低层 $850\sim 700\text{ hPa}$ 为两脊一槽形势, 新疆为脊区, 银川至兰州为槽区, 我国 110°E 以东为华北高压和副热带高压。28日20时至29日20时, 随着台风“蒲公英”向西北方向行进至台湾海峡, 850 hPa 从江苏—安徽—河南建立起一支东南气流, 东南气流和中南半岛槽前西南风之间在运城—南阳—武汉—海丰一线生成一条副热带切变线(与29日12时生成的副热带云系相对应)。随着 850 hPa 新疆高脊的发展, 29日20时平凉生成 8 m/s 西北风, 汉中生成 16 m/s 西北西风, 西风带西北风和中南半岛槽前西南风之间在陕西关中西部生成一条冷切变线。冷切变线和副热带切变线在陕西关中交汇。28日20时至29日20时 700 hPa 等压面上, 位于银川至兰州的低槽东移到东黄河沿线至湖北十堰; 地面图上, 东西两路冷空气对陕西关中暖湿空气形成夹挤抬升, 配合 700 hPa 前倾槽, 形成有利于陕西关中突发性暴雨发生发展的环流背景。

3 暴雨二维流场结构

过暴雨区 (34°N) 做纬向流场和 ω 垂直剖面

图, 29日08时从 $100\sim 120^{\circ}\text{E}$ 存在一个巨大的顺时针环流圈, 暴雨区为弱的下沉气流区(图略)。29日20时, 从 $108\sim 120^{\circ}\text{E}$ 生成一个顺时针次级环流圈, 暴雨区生成一支强上升气流(图2), ω 值达 $-2.5\times 10^{-4}\text{ hPa/s}$ 。从 $112\sim 116^{\circ}\text{E}$, ω 等值线陡直, 生成一个等值线密集区, 即上升运动快速增强区。同时可看到, 有一支偏东气流加入到强上升气流中, 暴雨区同时具备了产生突发性暴雨的水汽条件、强上升运动条件和上升运动快速增强条件。

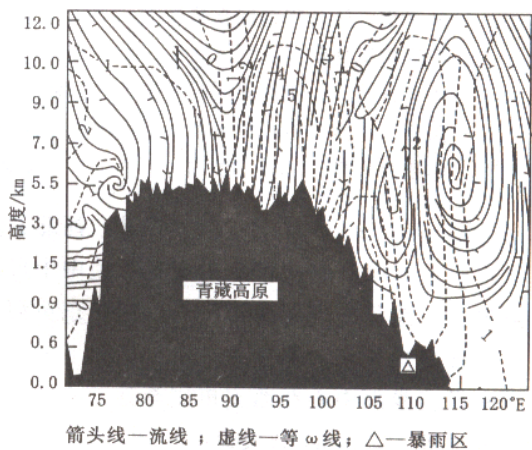


图2 2004-06-29-20 过暴雨区
纬向二维流场结构和 ω 垂直剖面图
(单位: 10^{-4} hPa/s)

4 热力条件和水汽条件

4.1 温度场和湿度场

暴雨前期, 陕西关中从 $850\sim 250\text{ hPa}$ 受大陆高压和暖温度脊控制, 地面维持 $t_{\max}\geq 35^{\circ}\text{C}$ 持续高温天气, 29日14时西安气温达 36.6°C 。在湿度场上, 28日20时西安市从 $700\sim 200\text{ hPa}$ 平均温度露点差达 1.8°C , 但这时西安市 $925\sim 850\text{ hPa}$ 边界层还是干的, 温度露点差在 6°C 以上。一直到29日20时, 才看到西安市边界层增湿, 温度露点差在 3°C 以下, $925\sim 200\text{ hPa}$ 平均温度露点差达到 2.2°C , 形成高温接近饱和的深厚湿层, 满足了产生暴雨所需的温湿条件^[1]。

4.2 相当位温场

从28日20时开始, 我国大陆 $90\sim 120^{\circ}\text{E}$, $30\sim 50^{\circ}\text{N}$ 已形成天气尺度高能脊(图略), 暴雨区从 $850\sim 300\text{ hPa}$ 形成 θ_{se} 高值迭置的区域, 西安市

850 hPa θ_{se} 值维持在 80°C 以上。从 28 日 20 时至 29 日 20 时陕西关中维持很强的对流不稳定, 西安 850 hPa 与 500 hPa θ_{se} 之差平均达到 7°C 。29 日 08 时, 700~500 hPa 形成“中尺度低能鼻”迭置在 850 hPa 高能区之上 (图略), 使暴雨区形成强的对流不稳定。

4.3 水汽条件

大暴雨的形成需要源源不断的水汽输送。分析西安测站 925 hPa 水汽通量的变化, 受台风向西北方向行进的影响, 从 28 日 08 时至 28 日 20 时浙江到河南建立起一支 $4\sim 8\text{ m/s}$ 东南气流, 西安水汽通量值平均达到 $8.5\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ 。从 28 日 20 时至 29 日 08 时, 台风向偏西方向行进, 从浙江到河南东南气流减弱为 $2\sim 4\text{ m/s}$, 到达西安水汽通量急剧减小, 仅为 $2\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ 。29 日 08 时至 29 日 20 时随着台风再次向西北方向行进, 从浙江到河南 $4\sim 8\text{ m/s}$ 东南气流的再度建立, 西安水汽通量再度急剧增加, 达到 $10\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ (图 3)。29 日西安水汽通量的急剧增加和暴雨的发生是同步的, 形成本次暴雨的预报难点。分析水汽源地, 29 日 20 时暴雨区水汽通量的急剧增加与东南气流的建立相联系, 水汽主要来源于东海; 其次来源于中南半岛槽前偏南

气流。分析西安测站 850 hPa 水汽通量散度, 水汽辐合从 29 日 08 时开始出现, 水汽通量散度达到 $-8\times 10^{-8}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ 。29 日 20 时, 850 hPa 水汽通量散度达到 $-17\times 10^{-8}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ 。29 日 20 时, 西安市区对流层低层水汽通量急剧增加的同时也伴随着水汽辐合的增强。

5 动力条件

5.1 涡度场和散度场

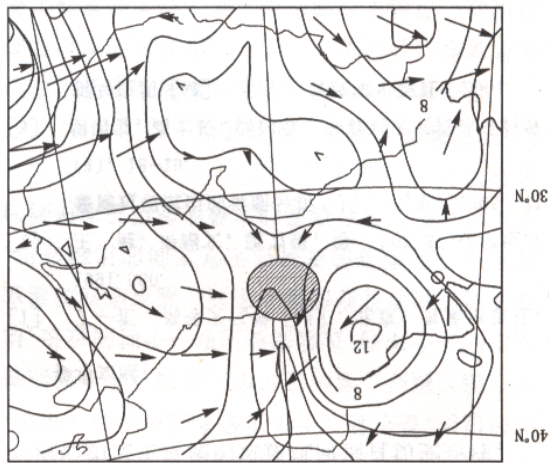
过暴雨区做涡度纬向垂直剖面图 (图略), 从 29 日 08—29 日 20 时对流层低层 850~700 hPa 正涡度发展, 形成 $1\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 正涡度中心; 对流层高层 200 hPa 负涡度发展, 形成小于 $-5\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 负涡度中心。过暴雨区做散度纬向垂直剖面图 (图略), 29 日 08 时暴雨区 700 hPa 以下对流层低层存在 $-4\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 辐合中心, 对流层高层 300~200 hPa 存在大于 $6\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 辐散中心。29 日 20 时, 对流层低层辐合强烈发展, 850 hPa 生成 $-10\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 辐合中心; 对流层高层辐散强烈发展, 200 hPa 生成大于 $10\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 辐散中心。对流层低层正涡度和辐合强烈发展, 配合对流层高层负涡度和辐散强烈发展, 形成有利于关中突发性暴雨发生的动力条件之一。

5.2 地面东西两条冷锋对暖湿空气的夹挤抬升作用

追踪地面冷锋的演变, 29 日 08 时河套西部有一条天气尺度的冷锋位于兰州附近。河套东部有一条天气尺度的冷锋位于石家庄至渤海湾。29 日 14 时, 地面河套西部冷锋东移到关中西部, 地面河套东部冷锋南压至山东至晋南, 东西两条冷锋对陕西关中及以北地区的东南暖湿气流形成夹挤抬升, 使关中西部、北部、东部出现强雷暴和冰雹天气。29 日 14 时至 20 时, 随着地面东西两条冷锋的移动对陕西关中东暖湿气流夹挤抬升加剧, 使积聚在陕西关中的不稳定能量集中猛烈释放。

5.3 对流层低层中尺度锋生

在 850 hPa 等压面上, 以 2°C 为间隔分析等温线 (图略), 29 日 20 时生成从平凉指向西安的小冷温度槽, 平凉和西安之间生成 $-3\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 弱冷平流, 西安附近出现中尺度锋生。正是西安



实线—水汽通量; 箭头线—水汽通量矢量; 阴影区—暴雨区
图 3 2004-06-29-20 925 hPa 水汽
通量矢量和水汽通量 (单位: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$)

附近的中尺度锋生在晋、陕、豫、湖北 $SI \leq -2^{\circ}\text{C}$ 不稳定区的西北边缘触发了西安市大暴雨、陕南暴雨的发生。同时从过暴雨区 θ_{se} 垂直剖面图(图略)可见, 伴随对流层低层中尺度锋生, 高能空气在对流层低层暴雨区形成积聚, 暴雨区对流层中低层 700~400 hPa 生成高能虹吸管, 为积聚的能量形成集中猛烈释放创造了条件。

5.4 垂直风廓线特征

分析西安测站风廓线演变(图4), 从28日20时至29日20时西安市出现对流层高层强西北风

北风随高度增大, 29日20时同时出现从3~9 km 偏北风随高度增大, 西安市同时形成有利于中尺度强对流云团发生发展的风速切变条件^[3]。

6 小结

6.1 造成西安市突发性大暴雨的中尺度强对流云团是由西风带云系和副热带云系的生成、发展和移动在交汇点附近激发而产生的。

6.2 水汽条件的满足和暴雨的发生是同步的, 是这类暴雨的预报难点。我国近海台风的活动导致了通向暴雨区的水汽通量在12 h内发生迅速增大或迅速减小的变化。中南半岛槽的发展和副热带高压相互作用在对流层低层生成一支西南气流, 西南气流和东南气流、西北气流相互作用生成辐合切变线, 增强了暴雨区边界层动力抬升条件。

6.3 动力条件分析表明, 由于对流层中高层新疆槽的东移发展的同时, 伴随对流层低层 700 hPa 银川至兰州切变东移发展、配合 850 hPa 中尺度锋生, 地面东、西两条冷锋对陕西关中东南暖湿气流形成夹挤抬升, 使西安市同时具备了产生突发性暴雨所需的强上升运动条件、上升运动快速增强条件和不稳定能量集中释放条件。对流层低层增强的东南风配合对流层高层同时向下发展的西北风, 使西安市也同时具备了有利于中尺度强对流云团发生发展的风速风向垂直切变条件。

参考文献:

- [1] 丁一汇. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 1991. 560.
- [2] 王 健, 寿绍文, 陈力强, 等. “03.8” 辽宁地区暴雨过程成因的诊断分析 [J]. 气象, 2005, 31 (4): 18-19.
- [3] 胡明宝, 高太长, 汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用 [M]. 北京: 解放军出版社, 2001.

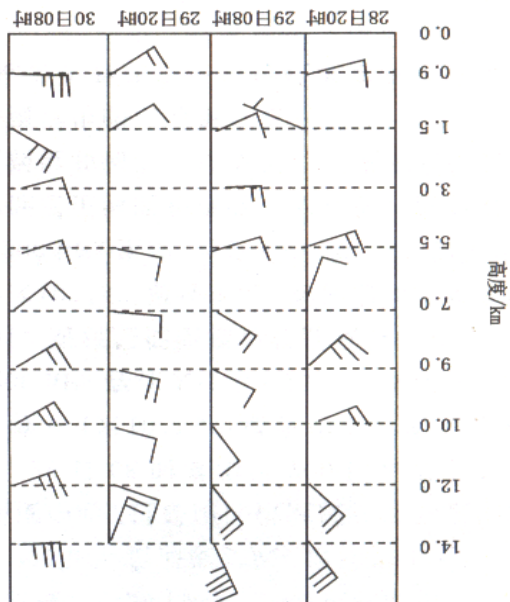


图4 2004-06-28-20-30-08 西安测站风廓线演变

向对流层中低层发展的过程, 这一过程也反映了西安市上空对流层中低层前倾槽的形成。29日20时随着700 hPa 关中西部槽的东移, 西安站3 km 高度出现偏北风, 这时西安站0.9 km 同时出现西南风增强, 前倾槽带来的干冷空气迭加在增强的西南暖湿气流之上, 进一步增强了暴雨区对流层低层的对流不稳定^[2]; 偏北风和西南风之间同时形成有利于中尺度强对流云团发生发展的风向切变条件^[3]。29日08时同时出现从7~14 km 西