

文章编号: 1006-4354 (2006) 02-0014-06

2002 年 6 月 8 日陕西暴雨高低空急流特征及地面中尺度系统分析

许新田, 郭大梅, 陶建玲, 宁志谦, 刘国生, 吴小林
(陕西省气象台, 西安 710014)

摘 要: 运用高空常规气象资料, 通过对 2002-06-08—09 陕西大范围暴雨、局地大暴雨的高低空急流配置及地面系统演变分析, 认为: 在高空急流入口区右后侧和高空反气旋环流第一象限内, 有高层辐散叠加在低层辐合的上方, 易于形成强上升运动, 为这次大暴雨产生提供了有利的环境条件, 是对流维持、持续的重要机制; 在有利的环境背景和一定的触发条件下, 地面上存在着中尺度系统, 中尺度系统是这次暴雨产生的组织者。

关键词: 暴雨; 急流; 反气旋环流; 切变线

中图分类号: P458.121.1 **文献标识码:** B

陆汉城等^[1]指出高空存在南北两支分离的急流风速最大中心, 由这两支急流对应的次级环流圈的上升叠加的结果, 加强了局地上升气流。由于南北两支次级环流圈的相互作用, 把降水区附近低层辐合, 高层辐散, 局地锋生, 不稳定能量的建立和释放有机地联系在一起, 从而构成有利于强对流发展的中尺度环境, 出现“湿”对流风暴, 造成强降水天气。

2002-06-08—09 陕西出现了大范围的区域性暴雨, 局地大暴雨天气过程, 全省共出现 30 站

暴雨, 3 站大暴雨, 佛坪县最大达 186.9 mm。关中、陕南部分地区出现了多年不遇的洪涝灾害, 尤其是大暴雨区佛坪县和宁陕县的部分乡镇, 洪水冲毁了房屋、道路、供电、通信等设施, 死亡数百人, 给人民生命和财产造成了巨大的损失。陕西在 6 月上旬出现这样大范围的暴雨天气过程是历史同期所罕见的。通过对高空急流、低层的偏南、偏东、东南三股气流、地面上中尺度系统的分析, 探讨这次暴雨过程中, 高低空急流的结构及地面中 α 尺度切变线演变特征。

收稿日期: 2005-10-11

作者简介: 许新田 (1962-), 男, 陕西眉县人, 学士, 高工, 从事天气预报。

[17] 何启伟, 艾希珍, 孙小镭, 等. 日光温室黄瓜栽培 CO₂ 浓度的消长规律初探[J]. 中国蔬菜, 2002 (1): 7-10.

[18] 史跃林, 许贵民, 孙业芝. 温度对大棚黄瓜干物质生产及分配的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 1992, 14 (2): 34-37.

[19] 卢育华, 申玉梅, 刘克长, 等. 冬季日光温室黄瓜作用 [J]. 山东农业大学学报, 1996, 27 (1): 39-43.

[20] 卢育华, 申玉梅, 陈莉萍. 黄瓜单个叶片光合特性研究 [J]. 园艺学报, 1994, 12 (1): 54-58.

[21] 徐克章, 史跃林, 徐贵民, 等. 保护地黄瓜叶片光合作用温度特性的研究 [J]. 园艺学报, 1993, 20 (1): 51-55.

[22] van Keulen H. Simulation of water use and herbage growth in arid regions — a revaluation and further development of the model " ARID CROP" [J]. Agric syst, 1981, 6: 159-193.

[23] 李化龙, 陈端生, 杨合法. 日光温室黄瓜叶片和果实相关参数的模拟 [J]. 中国农业大学学报, 2003, 8 (增刊): 76-79.

1 200 hPa 高空影响系统

1.1 急流

国内学者^[1-2]认为,高空急流入口区右侧由热成风适应过程所形成的直接环流上升支对激发强降水起重要作用。6月7日20时,200 hPa层青藏高原和河套地区无急流存在($>30\text{ m/s}$),南疆开始有一支西南急流发展,从贝加尔湖经华北北部到辽东半岛存在一支极锋急流($>50\text{ m/s}$)。随着高空槽东移,南疆的急流东扩发展,8日08时从河套北部到华北北部建立起一支西南急流($>30\text{ m/s}$),并汇入辽东半岛附近的极锋急流中心(56 m/s)。河套地区风速自南向北递增,河套到华北风速自西向东递增,河套地区处于急流入口区右侧。到20时西南急流南压(图1a),风速略增强,极锋急流中心东移到吉林省、朝鲜半岛北部(68 m/s),陇东、陕北处于急流入口区右侧。9日08时(图1b),急流轴继续南压,急流上风速明显增强,原在东北的急流中心明显减弱,河套地区北侧出现一急流中心,其中心风速达 60 m/s ,关中、

陕南处于急流入口区右侧的辐散区。

1.2 反气旋环流

8日08时,陕南、四川东部、重庆到湖北西部出现一反气旋环流,中心在四川东北部,其中心缓慢东移,这个反气旋环流一直维持到9日08时,陕西位于反气旋环流的第一象限内,9日20时此中心已东移到武汉附近。8日08时200 hPa图上(图略),陕南、四川东部、重庆到湖北西部出现以1248 dagmp等高线闭合的高压,高压中心位于四川东北部到陕南西部附近,其中汉中最大达1252 dagmp,8日20时1252 dagmp范围扩大,中心南压至重庆附近。9日08时高压范围及中心无明显变化,9日20时此中心已东移到武汉附近。

2 低空急流和水汽来源

2.1 偏南气流 (850~700 hPa)

对流层低层的丰沛水汽是大暴雨产生的必要条件之一。6月8日陕南大暴雨的前期和暴雨发生阶段水汽条件相当充分。暴雨产生前,陕西处于高空槽前,从青藏高原到河套上空维持一致的西南气流,由于中高层引导气流的作用,从7日08时到8日20时,中低层850~700 hPa云贵高原经四川盆地到陕西上空存在一只持续时间较长的偏南风(图2),其中8日08时700 hPa汉中到延安出现急流($\geq 12\text{ m/s}$),延安最大达 22 m/s 。从水汽通量分布来看(图略),700 hPa水汽输送最明显,8日08时达到最大,在陇东和陕南附近有一大于 $16\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 水汽通量中心,这与低空急流位置一致。

2.2 偏东气流 (850~700 hPa)

7日20时开始850~700 hPa在河套有一支

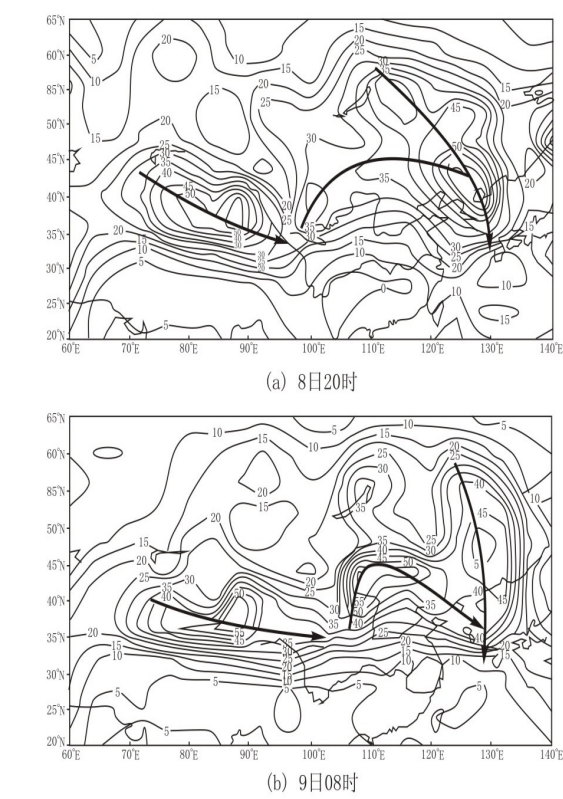


图1 200 hPa全风速(单位: m/s)和急流轴

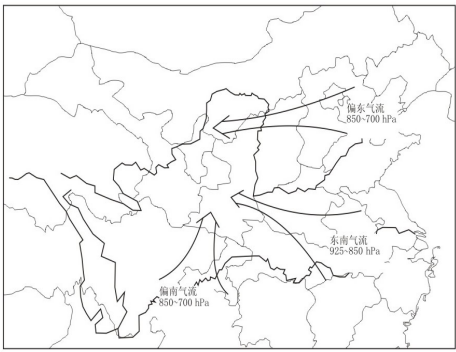


图2 三股气流示意图

东西向的偏东急流 ($\geq 12 \text{ m/s}$) 建立 (图 2), 其产生原因主要是从蒙古国有冷空气进入华北地区后, 在冷高压底部建立起一支偏东气流。随着华北冷空气向南扩散, 这支气流缓慢向南压, 逐渐转为西北—东南向, 且 850 hPa 与 700 hPa 急流开始发生分离, 8 日 08 时 700 hPa 偏东急流在太原到磴口一线, 急流继续顺时针旋转, 到 20 时基本呈南北向, 与从云贵高原到陕西的偏南气流合成一致的偏南气流, 同时, 在 850 hPa 上偏东急流与东南风结合成一支东南急流。

由于这支偏东急流的存在, 不仅带来东路冷空气, 使聚积的不稳定能量得以释放, 因而在河套地区存在较强锋区; 同时也对偏南气流有阻挡截流作用, 使中低层辐合加强, 水汽在此汇合, 从水汽通量散度场分布看出 (图略), 8 日 08 时 700 hPa 在河套地区有一小于 $-10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 中心。

2.3 东南气流 (925~850 hPa)

随着华北冷空气扩散南下, 偏东急流南压并顺时针旋转, 8 日 20 时在 925~850 hPa 建立起一支东南气流 (图 2), 这支气流的建立与台湾以东洋面上的热带风暴的产生密切相关。850 hPa 图上, 上海、徐州、郑州、西安一线出现一支风速大于 12 m/s 的东南急流, 风速中心在郑州 (14 m/s), 925 hPa 急流位置基本与 850 hPa 相同, 最大风速中心仍在郑州 (18 m/s), 汉中 (4 m/s) 与西安 (12 m/s) 之间偏东风风速辐合明显, 925~850 hPa 陕南处于东南急流轴左前方, 是正切变涡度区, 有利于对流活动发生^[1]。水汽通量计算结果表明, 925~850 hPa 自东海经江苏、安徽、河南到关中、陕南为水汽通量的高值区, 其中 925 hPa、850 hPa 这一带分别对应为大于 $14 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 和 $12 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 高值区, 暴雨区处于东南急流前方的风速辐合区内, 水汽通量的高值区的前部。

从水汽通量散度场分布看 (图略), 8 日 20 时 850 hPa 水汽辐合中心在陇东和陕北南部附近, 其中心值达 $-30 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$; 而在 925 hPa 上, 水汽辐合中心在陕南西部, 中心值达 $-20 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 这说明 925~850

hPa 存在的这支东南急流向暴雨区输送水汽和能量, 特别是与台湾以东洋面上的热带风暴的产生密切相关, 为这次陕南大暴雨的产生提供大量的水汽和不稳定能量, 同时由于风速辐合明显, 有利于对流活动的持续发展。

3 高空急流和低空急流的耦合对暴雨的作用

本次暴雨天气过程中, 陕西出现了整层上升运动, 850~300 hPa 均有强烈的上升运动。根据汉中附近垂直速度时间剖面图 (图略), 从 7 日开始整层出现上升运动, 最大速度在 500 hPa 附近, 陕南已开始出现局地对流性降水, 到 8 日 08 时开始垂直速度增大, 特别是 700 hPa 增加明显; 9 日 08 时达最大值, 整层上升运动剧烈, 最大上升速度在 400 hPa, 达 $-4 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$; 9 日 20 时变成整层下沉运动, 降水已结束。

6 月 8 日暴雨最突出的特点是高空强辐散、中低层强辐合。从 7 日 20 时开始 200 hPa 贝湖到辽东半岛维持西北—东南向的极锋急流, 河套北侧处于急流入口区右侧, 这一区域为辐散区, 最大中心在包头附近 ($2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), 同时在南疆已出现一支东西纬向急流。8 日 08 时从河套北部到华北北部建立起一支西南急流 ($> 30 \text{ m/s}$) (图 1), 并汇入到辽东半岛附近的极锋急流中心里, 河套地区处于急流入口区右侧辐散区, 陕北北部有一个大于 $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 中心 (图 3a), 同时 700 hPa 汉中到延安维持一支偏南急流, 太原到东胜有一支偏东急流, 在辐散区下方, 低空急流前方已开始出现较强降水, 其中盐池 8 日 05—08 时 3 h 降水达 33 mm。与 200 hPa 反气旋环流对应, 陇南、川东和陕南西部附近出现一片辐散区, 四川东北部有一个 $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐散中心, 这说明由于高层高压的存在, 加强了该层的辐散流出。由于高层抽气作用, 07—08 时陕南已出现对流性降水, 勉县 1 h 降水 12 mm。同时, 与纬向急流出口区左侧相对应, 青海湖附近上空有一辐散中心。

随着高空槽的东移, 高层西南急流有所南压, 急流风速增大。从 8 日 20 时 200 hPa 散度场分布 (图 3b) 可以看出, 原在河套的辐散区向南扩, 与反气旋环流所造成的辐散区合并, 而纬向急流出口区左侧的辐散区与东侧的辐散连成一片, 但中

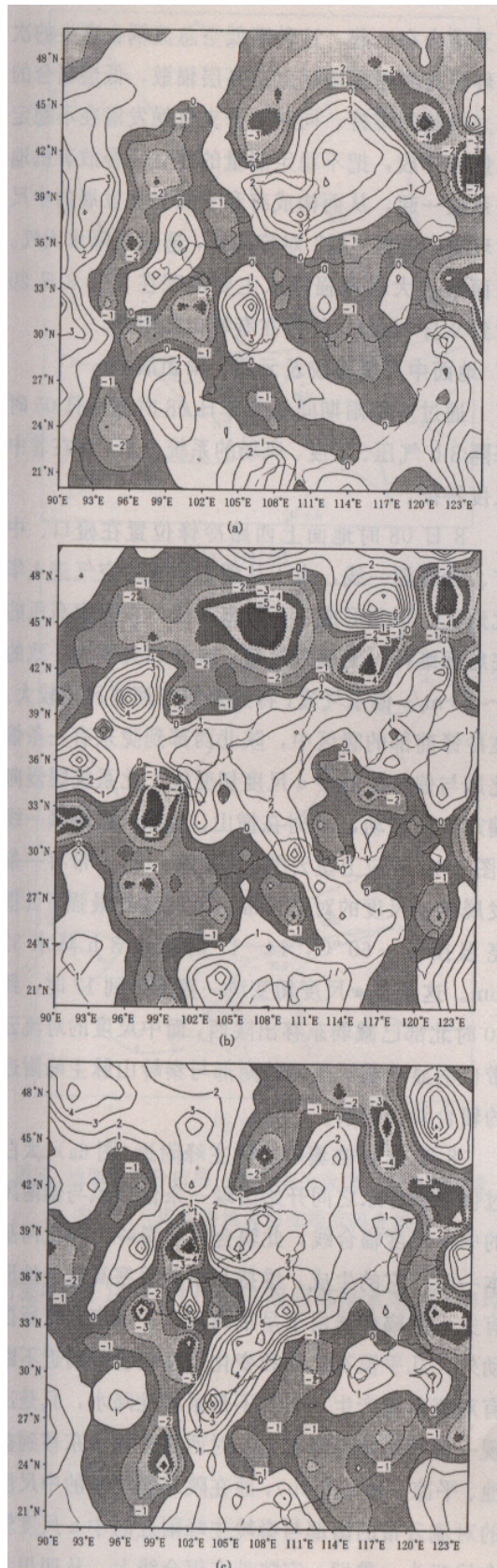


图 3 200 hPa 散度场 (a 8 日 08 时; b 8 日 20 时; c 9 日 08 时; 单位: $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)

心在陇南和川北上空, 西北地区东部、四川、湖北上空为大片的辐散区, 陕北、关中西部、陕南西部基本被大于 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐散区所覆盖。在辐散区下方, 陕北和关中西部处于 850 hPa 东南急流前方辐合区, 陕南西部处于 925~850 hPa 东南急流轴左前方正切变涡度区, 20 时左右这两个区域分别出现了强降水, 如志丹 18—20 时 3 h 降水 32 mm, 佛坪 20—23 时 3 h 降水 38 mm。

9 日 08 时, 由于 200 hPa 高层西南急流南压, 且急流上的风速增强明显, 关中、陕南处于急流入口区右侧, 同时, 原在南疆的纬向急流发展东伸到陇南及陕南西部。秦岭山区附近处于西南急流 (J_2) 入口区右侧 (图 4), 同时处于纬向急流 (J_1) 出口区左侧, 即 B 点, 在 B 点出现了急流 J_2 入口区右侧辐散与急流 J_1 出口区左侧辐散的重叠区, 200 hPa 在 B 点附近出现强的辐散 (图 3c), 陕北南部、关中、陕南的散度值普遍达 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上, 而强的辐散中心基本位于秦岭山脉附近, 最大值达 $9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 位置略偏东。这种强的高层辐散, 正好叠加在中低层偏南急流、东南急流所造成辐合区上空, 以及地面冷锋前的上升运动区, 高空的两支急流与低空急流的耦合使得暴雨区上空低层辐合、高层辐散的机制维持并加强, 这是秦岭附近暴雨、大暴雨产生的重要动力条件。

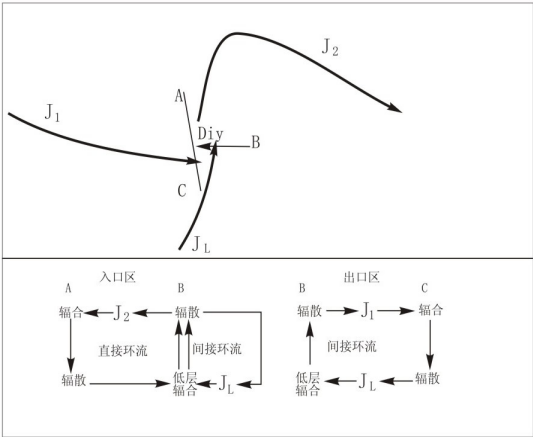


图 4 高空急流和低空急流的耦合及次级环流示意图

高空的两支急流与低空急流的耦合产生的次

级环流由图 4 的示意图反映出,即在 J_2 急流的入口区,高空急流轴与低空急流轴平行,从 B 点到 A 点构成一个正热力(直接)次级环流,在 B 点右侧构成一个反热力(间接)次级环流,因而在 B 点两个次级环流的上升支重合在一起。在 J_1 急流的出口区,高空急流轴与低空急流轴相交,从 B 点到 C 点构成一个反热力(间接)次级环流,B 点处于这个反热力(间接)次级环流的上升支。这样可以看出,由于三个次级环流的上升支在 B 点重合在一起。图 5 是 6 月 9 日 08 时沿 108°E 的经

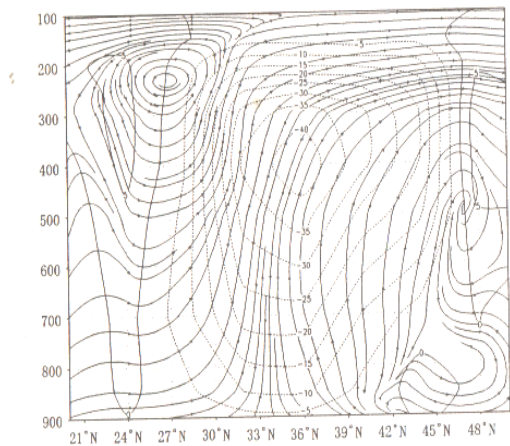


图 5 2002-06-09-08 沿 108°E 的经向风 v 和垂直运动 w 合成流场(实线带箭头为流线)及垂直速度 ω (正值为实线,负值为虚线)经向剖面图(单位:
 v 为 m/s ; w 为 $\times 10^2 \text{ cm/s}$; ω 为 $\times 10^{-4} \text{ hPa/s}$)

向风 v 和垂直运动 w ($\times 10^2$) 合成流场(实线)及垂直速度 ω 的经向剖面图,可以直接反映出暴雨期间由高低空急流耦合产生的次级环流,即来自四川盆地的暖湿气流在低层低涡切变(环流)附近上升,将南方的大量水汽向上输送,造成 33°N 暴雨上空的大气层位势不稳定,这股上升气流到高层后,一支随高空急流入口区的偏西气流一并辐散北流,在高空急流的左侧,大约在 46°N 下沉,在 $400\sim 500 \text{ hPa}$ 下沉速度最大,达 $5.0 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$,在高空副热带急流入口区两侧,形成一个正热力(直接)次级环流。另一支随反气旋环流外围的偏东气流向南流去,在 21°N 附近辐合下沉,即低空急流的右侧下沉,形成一个反热力(间接)次级环流,由于两个独立的次级环流的上

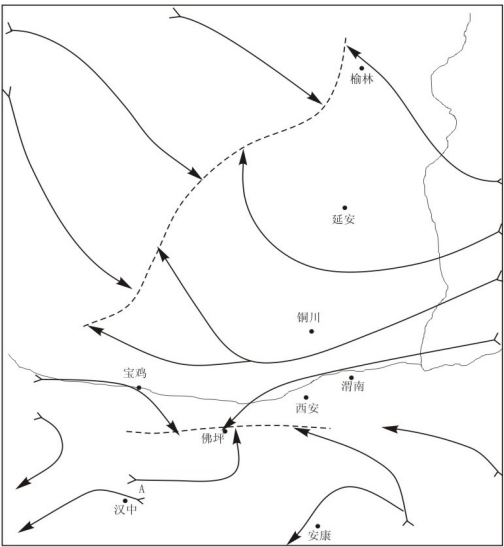
升支重合在一起,这种高低空急流耦合产生的次级环流有利于暴雨区上空高层辐散,低层辐合的动力机制的维持,同时上升支将触发潜在不稳定能量的释放,把不稳定能量的建立和释放有机地联系在一起,从而构成有利于强对流发展的中尺度环境,出现“湿”对流风暴,造成强降水天气。因而本次大暴雨强降水主要出现在 6 月 8 日 20 时到 9 日 08 时,位置在秦岭山脉附近。

4 地面中尺度系统及云团、雨团演变

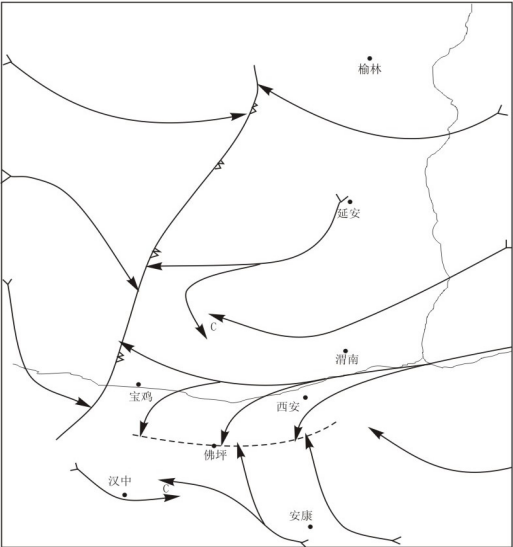
通过对暴雨期间地面 8 日 08 时到 9 日 05 时每隔 3 h 气压、温度、风场的系统分析,存在着中尺度特征。

8 日 08 时地面上西路冷锋位置在磴口、中宁、青海湖一线,由于从蒙古国有冷空气进入华北地区,华北形成一个阻塞高压,在阻塞高压的底后部维持一支偏东气流,陕北和关中为一致的 $4\sim 10 \text{ m/s}$ 偏东气流,特别是渭河河谷风速较大。在冷锋前部的暖区中,陕北西部到陇东有一条偏北风与偏东风的中 α 尺度切变线,此系统缓慢向偏东方向移动,14 时在横山、吴旗、西峰镇一线(图 6a),对应卫星云图上(图略),这一带有一条发展的中尺度的对流云带,16 时达到最强,云顶亮温接近 -60°C ,14—17 时靖边 3 h 降水 32 mm 。这条中 α 尺度切变线一直维持到 17 时,到 20 时北部已减弱东移出陕西,而中尺度的对流云带也明显减弱消散,其南部与秦岭山脉主峰附近的辐合线相交接。

8 日 14 时在秦岭山脉主峰附近(图 6a),太白过佛坪到柞水之间开始出现一条偏东风与偏南风的中 α 尺度辐合线,此辐合线与秦岭山脉走向基本一致,它的生成、维持与华北阻塞高压及地形有关,此辐合线由于呈东西走向,除南北有所摆动外,几乎没有移动和变化,在辐合线附近不断有对流单体产生,但都不是系统性降水,只是出现一些短时阵性降水。20 时西路冷锋已东移到盐池、平凉一线(图 6b),原在陕北到陇东的中尺度的对流云带的南部与秦岭主峰附近的中 α 尺度辐合线碰头,佛坪、宁陕处在辐合线上,从四川北部到辐合线上有一中尺度的对流系统(MCS)开始发展(图略),在这条云带上,分布着若干个



(a) 8日14时



(b) 8日20时

图 6 地面流场分析图 (箭头线为流线, 实线带锯齿为冷锋, 虚线为地面切变线或辐合线)

对流单体。从 20 时开始陕南西部降水增强, 佛坪

20—23 时 3 h 降水达 38 mm。23 时以后随着西路冷锋逼近, 使系统进一步加强, 在中 α 尺度辐合线附近的对流系统发展迅速, 从卫星云图可以看出 (图略), 9 日 02 时云顶亮温达到最低, 接近 -70°C , 01—02 时佛坪 1 h 降水达 52.8 mm。秦岭附近的强降水一直维持到 9 日 05 时。

5 结语

- 5.1 在这次暴雨过程中, 对流层上层 200 hPa 有一支西南向的副热带急流和反气旋高压, 持续维持的高空急流是暴雨产生和维持的重要机制。
- 5.2 中低空存在的三股气流或急流为暴雨的产生提供了充足水汽和不稳定能量, 特别是偏东气流不仅带来了东路冷空气, 同时对偏南气流阻挡截流作用, 加强了水汽辐合。
- 5.3 高空急流入口区右侧的高空辐散叠加在低层辐合的上方, 高低空急流的耦合所产生的次级环流, 有利于暴雨区上空高层辐散, 低层辐合的动力机制的维持, 有利于深对流天气的发生和发展。
- 5.4 地面流场中, 存在着中 α 尺度切变线和辐合线, 是这次暴雨产生的具体组织者和影响系统。

参考文献:

- [1] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 65-68, 277-280.
- [2] 西北暴雨编写组. 西北暴雨 [M]. 北京: 气象出版社, 1992.
- [3] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [4] 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材 [M]. 北京: 气象出版社, 1998: 230-231.