

急流次级环流对局地持续强风暴天气的作用

刘 勇

(陕西省气象局气象台, 西安 710015)

摘要 利用天气图、雷达回波和地面风场资料对 1994 年 6 月 28 日陕西中部发生的一次罕见的长时间局地大风、冰雹、暴雨天气进行诊断分析。结果表明:这次过程出现在 500 hPa 槽前和 700 hPa 低涡暖式切变线附近;强风暴发生在高空急流入口区右侧辐散和低空急流左前侧辐合重叠区,与地面中尺度气旋活动紧密相关;证实了地面中尺度气旋是由高低空急流耦合产生的次级环流引起,次级环流控制着中尺度系统发展变化。

关键词 强风暴 中尺度气旋 次级环流

引言

1994 年 6 月 28 日 17:00 ~ 23:00(北京时,下同),陕西中部平原地区出现了一次历时 7 h、行程 170 km 的强风暴天气。17:00 从礼泉东部开始出现强风暴天气,19:00 ~ 20:00,铜川市金锁乡遭到特大暴雨袭击。21:00 ~ 23:00,澄城县北部遭受罕见的狂风、暴雨、冰雹天气袭击,冰雹持续 20 min,最大直径 25 cm,2 h 降水 47 mm,伴有 10 ~ 11 级大风。

分析部分常规资料,发现这次过程是中尺度气旋由南向北移动造成的。但中尺度气旋是怎样形成的,为什么由南向北运动持续这么长时间,它的活动规律是什么,是这次过程的关键问题。加强对旋转雷暴或中尺度气旋的研究十分有必要^[1~4]。本文就这一问题进行了诊断分析,揭示出此次中尺度气旋发生发展的内在原因。

1 天气形势分析

1994 年 6 月 28 日 08:00 500 hPa 图上,东亚环流形势为东高西低。低槽位于新疆,青藏高原为低值区。陕西处在副热带高压西北侧暖湿气流中。6 月 28 日 20:00,新疆低槽分裂出的西风小槽,由河西向东移动,移到河套上空,槽后出现一片负变温区。同时副热带高压加强西进,副高脊线位于 31°N。28 日 20:00,这股弱冷空气东移,提供了中层干

冷空气入侵条件,陕西中部地区层结不稳定,触发了对流的产生。

28 日 20:00 位于青海湖的低涡移到盐池附近。在低涡前部,河套高脊与副高西侧的暖湿气流间形成一条东西向暖式切变线,切变线穿过陕西中部地区。在切变线南部,沿贵阳、重庆、汉中、西安出现了一支尺度为上千公里的 $12 \sim 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的南风急流,为陕西中部带来大量的暖湿气流及辐合上升运动。

28 日 08:00 200 hPa 图上,从甘肃酒泉经内蒙古临河、呼和浩特、河北石家庄有一风速为 $35 \sim 44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 高空急流,陕西位于高空急流入口区的反气旋一侧。28 日 20:00,河套地区 200 hPa 高空急流轴位置向南移动约 2 个纬距,强度进一步加强,最大风速为 $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。银川 200 hPa 高空风由 08:00 的西北风转为西南风。高空反气旋环流的加强使得高空辐散增强,对强风暴形成非常有利。

2 物理量诊断分析

2.1 能量分析

28 日 20:00 陕西中部位于 850 hPa 高能区和能量锋区,高能轴线呈东北-西南向。陕西中部 θ_{se} 锋区值为 $65 \sim 85^\circ\text{C}$,为强风暴提供了能量。从位势稳定度 $\Delta\theta_{se}$ 来看,6 月 28 日 08:00 陕西中部 $\Delta\theta_{se(500-850)}$ 均为负,其中西安 $\Delta\theta_{se(500-850)} = -12^\circ\text{C}$ 。28 日 20:00 西安 $\Delta\theta_{se(500-850)} = -11^\circ\text{C}$,说明

陕西中部大气层结处于强位势不稳定状态,有利于对流的发展。

2.2 涡度、散度场分析

28 日 20:00 的涡度场,陕西中部(34°~36°N) 925~700 hPa 正涡度区涡度增大,量值为 $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。500 hPa 以上整层维持一负涡度区。从散度场来看(图 1a), 28 日 20:00,陕西中部 850~700 hPa 为一强辐合区,比 08:00 辐合增强,散度值为 $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。500 hPa 以上为辐散场,比 08:00 辐散也有所增强,散度值为 $(2 \sim 3) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。低层强辐合,高层辐散层深厚,有利于对流的发展。

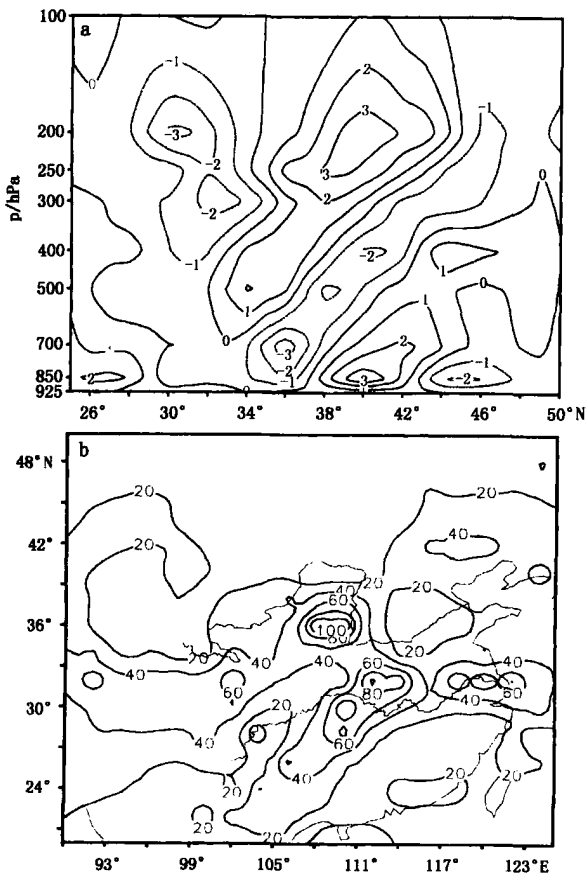


图 1 1994 年 6 月 28 日 20:00 沿 109°E 垂直剖面散度(a) (单位: 10^{-5} s^{-1})和 500 hPa 水汽通量(b) (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.3 水汽条件分析

28 日 20:00 水汽通量图上,850 hPa 在陕西中部水汽通量仅为 $20 \sim 40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。700 hPa 陕南水汽通量值很大,关中地区却不是很大,水汽通量为 $60 \sim 80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。500 hPa 水

汽通量值在陕西中部最大(图 1b),水汽通量为 $60 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从 28 日 20:00 的水汽通量散度来看,850~700 hPa 陕西中部均为强水汽辐合区,850 hPa 陕西中部水汽通量散度值为 $-4 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,700 hPa 陕西中部水汽通量散度值为 $-5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。水汽辐合中心与暴雨区位置有较好的对应关系。

通常产生冰雹的主要原因是低空暖湿,中层非常干燥。此次过程虽然陕西位于高低空槽前西南气流之中,500 hPa 中层水汽比较充沛,但 850 hPa 水汽通量偏低。因此,当对流发生发展时,将 850 hPa 大量的干空气卷入对流云,造成对流云中水汽含量偏低,可能是这次过程产生强冰雹的主要原因。

3 中尺度分析

3.1 急流次级环流

通过分析,发现这次过程与高低空急流耦合产生的次级环流有密切的关系。28 日 20:00 陕西中部位 于 200 hPa 高空急流入口区右侧强辐散区和低空急流左前侧强辐合区,低层强辐合区与高层强辐散区叠加,强对流得以发展和维持。28 日 20:00 沿 108°E 的垂直速度剖面图(图 2)表明,在 200 hPa 急流轴入口区两侧存在着一个次级环流:入口区右侧为一上升气流,在 34°~38°N 之间,也是 700 hPa 急流轴左前侧的位置,上升气流最大速度在 400 hPa 附近,为 $-11 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,上升运动非常强。200 hPa 急流轴入口区左侧为一下沉气流,在 38°~43°N 之间,最大速度在 400 hPa 附近,为 $8 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于次级环流提供了持续强劲的上升运动,中尺度对流系统维持的时间较长,造成强对流和暴雨的发生。

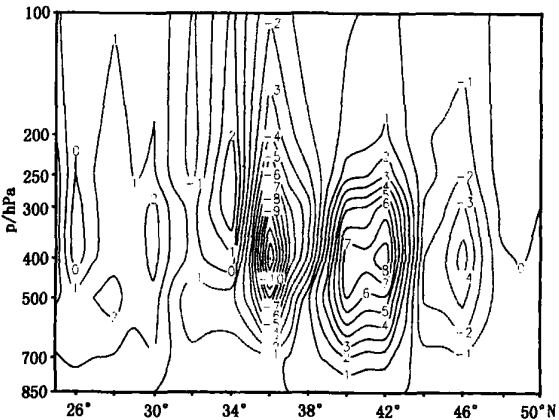


图 2 1994 年 6 月 28 日 20:00 沿 108°E 的垂直速度($10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

3.2 地面中尺度风场

通过对 6 月 28 日 15:00~24:00 每小时地面风场(图 3)分析,发现急流次级环流强劲的上升运动引起地面中尺度气旋出现,并给当地造成强天气。

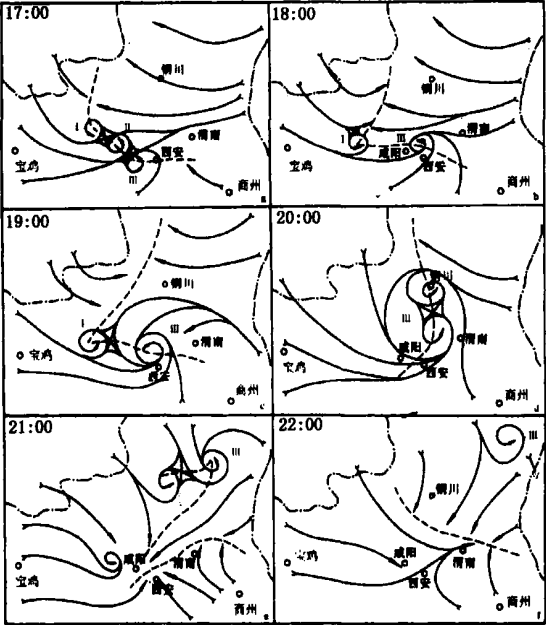


图 3 1994 年 6 月 28 日 17:00~22:00 地面流场图

6 月 28 日 15:00,陕西中部有一中尺度辐合线。16:00 在礼泉、武功之间出现一个中尺度气旋,辐合线北段东移,南段稳定少动,呈“L”型。17:00,在辐合线上出现 3 个中气旋:I、II、III。彼此靠的很近。对照地面天气,中气旋 I 造成兴平阵雨天气;中气旋 II 造成礼泉强风暴天气;中气旋 III 造成咸阳强雷雨天气。18:00,辐合线仍呈“L”型。中气旋 I、II 合

并,中气旋 II 加强,造成泾阳强雷暴天气。19:00,中气旋 III 尺度明显增大,继续北抬,给高陵造成强雷暴天气。中气旋 I、II 合并后逐渐减弱。20:00,中气旋 III 发展成直径为 100 km 左右的涡旋,在其内部有两个核。位于铜川的小涡旋造成局地特大暴雨天气。21:00,中气旋 III 向东北方向移动,位于澄城、黄龙之间。中气旋 III 由丘陵地区进入平原地区,虽然尺度减小,但强度却增大,给澄城北部造成巨大灾害。22:00,中气旋 III 向北移动,所到之处,均给当地带来巨大灾害。23:00 中气旋 III 受山地地形影响减弱,强天气逐渐结束。

从地面中尺度气旋的演变过程来看,急流次级环流上升支可以引起地面多个中尺度气旋活动,并出现中气旋核族现象。中尺度气旋发展并不平衡,有时强,有时弱。通常由山区进入平原地区容易得到加强。受低空急流北上影响,中尺度气旋也随之北移,其活动路径主要受低空急流位置的改变而变化。

3.3 雷达回波分析

6 月 28 日 17:00,平显 PPI 回波表明在关中西部有块状对流云团生成,在礼泉、兴平之间出现一强度为 50 dBz 对流云。根据地面流场分布,显然是由中气旋 I、II 造成的。17:00 的高显 RHI 表明,礼泉东部灌区的强对流云云顶高度为 12 km,回波强度最大为 55 dBz,呈圆柱状。由于它是和中气旋紧密相关,因此造成的灾害是巨大的。18:36 的 PPI 表明,在泾阳淳化附近有多个对流单体相互碰并,发展为带状回波。这个带状回波北移的过程中给铜川市金锁乡带来短时大暴雨天气。21:00(图 4a)强

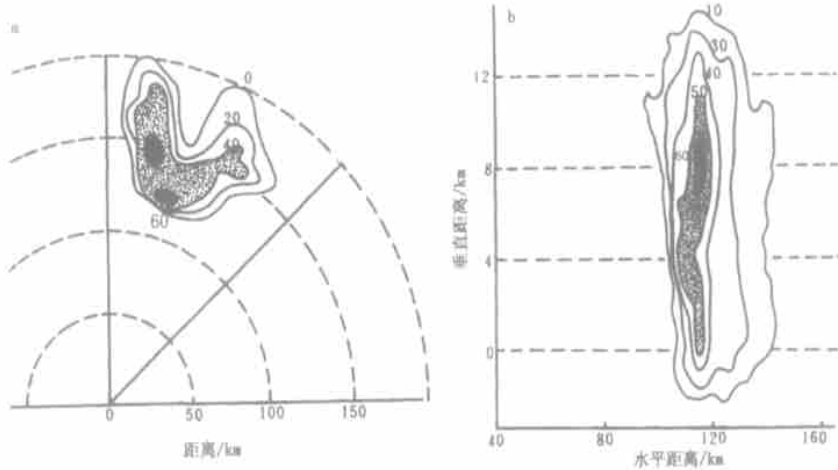


图 4 1994 年 6 月 28 日 21:00 PPI(a)和 RHI (b) 雷达回波图(单位: dBz)

回波移至澄城县西北部,回波强度为 50 ~ 55 dBz , PPI 出现弓状回波,强中心位于弓状回波顶端,强度为 55 dBz。21:06 弓状回波强中心的 RHI 上(图 4b),位于澄城上空得对流云云体高度为 18 km,云体宽为 35 km,云柱上下几乎一样宽。中心强度为 60.45 dBz 高度达 12 km。正是这一强对流云给当地造成巨大灾害。

此次过程由中气旋造成,但并没有出现典型的勾状回波,却出现了弓状回波和带状回波。这表明由急流次级环流引起的中尺度气旋在 PPI 上的形态和典型的中尺度气旋并不相同,说明其内部结构可能有所不同。

4 结论

(1) 此次过程是 200 hPa 高空急流和低层 700 hPa 南风急流耦合产生的次级环流造成的。急流次级环流为强风暴天气提供的持续强劲上升气流,引起地面多个中尺度气旋活动,持续时间较一般对流系统长。

(2) 地面上中尺度气旋给当地带来强天气。受低空急流北上影响,中尺度气旋也随之北移,其活动

路径主要受低空急流位置的改变而变化。

(3) 强风暴天气发生在高空槽前西南气流之中,但是从陕西中部的空间水汽垂直分布来看,850 hPa 水汽通量值偏低,可能是这次过程产生强冰雹的主要原因。

(4) 由急流次级环流导致的地面中尺度气旋强风暴,在雷达 PPI 回波形态上并没有出现勾状回波,而是块状、带状和弓状回波,这表明由急流次级环流引起的中尺度气旋在 PPI 上的形态和典型的中尺度气旋并不相同,说明其内部结构可能也有所不同。

参考文献

- 1 刘式达,辛国君,刘式适,等.大气中尺度涡旋的三维螺旋结构理论.气象学报,2000,58(2):151-158
- 2 刘勇,刘子臣,马廷标,等.一次飑线过程中龙卷及飑锋生成的中尺度分析.大气科学,1998,22(3):326-335
- 3 王鹏云,李泽春.灾害天气和中尺度气象学研究.气象科技,2001,29(1):10-14
- 4 蒋汝庚.龙卷型强风暴——1995年4月19日洪奇沥龙卷风剖析.应用气象学报,1997,8(4):492-497

Effect of Jet Sub Circulation on a Local Lasting Heavy Rainstorm

Liu Yong

(Shaanxi Provincial Meteorological Office, Xi'an 710015)

Abstract: A diagnostic analysis was made of a local lasting heavy rainstorm took place in the central part of Shaanxi Province on 28 June 1994. The heavy rainstorm appeared in the front of a 500 hPa trough near the shear line of a depression on the 700 hPa, happened in the superposed zone between the right divergence area around the entrance of the upper troposphere jet and the left convergence area of the lower troposphere jet, and was related with the mesoscale cyclone on the surface. The diagnostic results show that the mesoscale cyclone on the surface was caused by the sub-circulation resulted from the coupling of upper and lower jets and the sub-circulation controlled the development and change of mesoscale systems.

Key words: heavy rainstorm, mesoscale cyclone, sub-circulation