

文章编号: 1006-4354 (2008) 06-0019-04

# 湿位涡在陕西一次强对流天气中的应用分析

陶建玲, 郭大梅, 许新田, 梁生俊

(陕西省气象台, 西安 710014)

**摘 要:** 利用常规观测资料、NCEP 再分析资料、云顶亮温资料, 对 2006 年 6 月 24—25 日陕西强对流天气过程分析, 结果表明: 高空低槽、中低层切变线是这次强对流天气的主要影响系统, 中尺度对流云团是造成此次强对流天气的直接原因。强对流发生前, 近地面存在逆温层。强对流发生发展与湿位涡的时空演变有很好的对应关系, 对流层高低层湿位涡“正负区垂直叠加”的配置是强对流天气发展的有利形势。强对流天气发生在低层湿位涡正压项等值线密集的零线附近及湿斜压项的正值区。

**关键词:** 强对流; 湿位涡; 云顶亮温

**中图分类号:** P426.6

**文献标识码:** B

受蒙古冷涡影响, 2006 年 6 月 24—25 日, 陕西出现一次短时大风、强降水、冰雹强对流天气过程。此次灾害性天气过程波及 6 市 26 个县区 152 个乡镇, 其直接经济损失超过 6 亿元, 并造成人员伤亡。本文利用常规观测、FY-2C 卫星云顶亮温资料( $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ )、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  的 6 h 再分析资料, 对这次强对流天气过程用湿位涡诊断进行分析, 以期增进对这类强对流天气发生发展机理的认识, 进而做好强对流天气的预报和服务工作。

## 1 天气形势分析

这次强对流天气过程的主要影响系统是高空低槽和中低层切变线。6 月 24 日 08 时, 500 hPa 形势场上(图略), 欧亚中高纬地区呈两槽一脊型, 巴湖附近及蒙古中东部分别为一低涡, 新疆为一高脊, 北支锋区维持在  $40^\circ\text{N}$  附近, 锋区上不断有冷空气扩散影响陕西。700 hPa 内蒙中东部至河北附近为一冷涡, 陇东至陕西一带为一暖舌, 陕

北有切变存在。850 hPa 河套北部有冷涡, 西部有一切变线。25 日 08 时, 500 hPa 大环流形势无明显变化, 但位于蒙古中东部的低涡加深缓慢东移并与东北地区的低涡合并, 低涡底部分裂的冷槽延伸至河南, 陕西位于槽后干冷平流中。700 hPa、850 hPa 上陕北、关中西部分别有一切变线。切变线的南侧偏南风将暖湿气流向陕北、关中西部输送, 为强对流天气的发生发展提供了大量的不稳定能量, 而 500 hPa 陕西位于槽后干冷的西北气流中, 这种下层暖湿、上层干冷的对流不稳定层结条件下, 只要有合适的触发机制, 就会导致不稳定能量的释放, 产生强对流天气。

## 2 卫星云图特征

分析 FY-2C 卫星的红外云图可以发现, 这次强对流天气的发生发展伴有多个中尺度雷暴云团的活动<sup>[1]</sup>。6 月 24 日 12 时, 与切变线相对应的宁夏东部至甘肃西部、临近陕北黄河沿线一带分

收稿日期: 2008-06-27

作者简介: 陶建玲 (1972-), 女, 陕西长安人, 硕士生在读, 工程师, 从事天气预报服务和研究。

## 参考文献:

[1] 杜继稳, 候明全, 梁生俊, 等. 陕西省短期天气预报技术手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.

[2] 贺皓, 刘宇, 黄宝霞. 从一次反气旋的生消演变分

析陕西初夏连阴雨[J]. 气象, 2008, 34(5): 59-60.

[3] 杜继稳, 李社宏. 渭河流域致洪暴雨分析研究与应用 [C]. 北京: 气象出版社, 2007: 92.

别有一对流云团 A、B 生成, 尺度很小, 云顶亮温  $t_{BB}$  冷中心为  $-20^{\circ}\text{C}$ 。14 时, 云团 A 和 B 迅速发展成长条状云团(图 1a), 云团 A 有 2 个明显的冷中心,  $t_{BB}$  均为  $-30^{\circ}\text{C}$ ; 云团 B 的 2 个冷中心  $t_{BB}$  均为  $-40^{\circ}\text{C}$ , 位于云团 B 的  $t_{BB}$  冷中心及等值线密集

区的子洲、佳县降雹。17 时, 随着云团 B 减弱东移, 其影响也减弱; 此时 A 云团发展东移, 尺度变化不大,  $t_{BB}$  加强为  $-40^{\circ}\text{C}$ , 沿途造成大风、冰雹天气, 其中关中的合阳冰雹直径达 15 mm。20 时, A 云团尺度由条状缩小为直径为 150 km 的

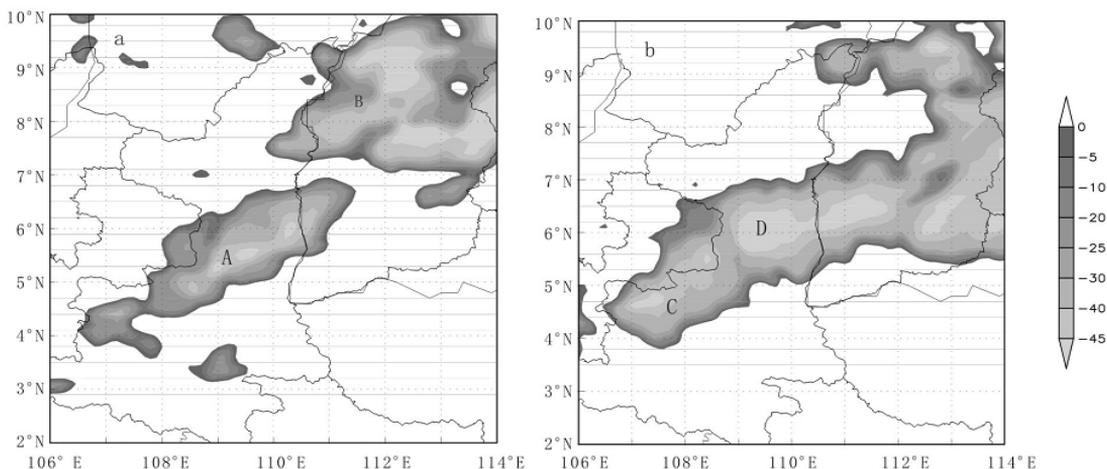


图 1 2006-06-24T17 (a) 和 2006-06-25T17 (b)  $t_{BB}$  图 (单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

圆型,  $t_{BB}$  为  $-45^{\circ}\text{C}$ , 造成关中北部和东部的冰雹大风天气。

6 月 25 日 13 时在低层切变线附近, 有 2 个中尺度对流云团生成, 分别位于甘肃中部和东北部的云团 C 和 D, 尺度也很小,  $t_{BB}$  均为  $-20^{\circ}\text{C}$ 。15 时, 云团 D 向东南移到陕北南部, 尺度增大, 强度增强, 造成陕北南部部分地区出现雷雨、冰雹, 其中安塞冰雹直径 18 mm; 同时云团 C 向东南方向移动, 强度、范围增大, 16 时关中北部出现大风天气。17 时(图 1b), 云团 C、D 范围迅速扩大, 并相互衔接,  $t_{BB}$  在  $-40^{\circ}\text{C}$  以下的强中心分别位于陇县、洛川附近, 相应地面上出现冰雹、大风天气。19 时, 云团继续向东南方向移动, 强中心位于大荔附近,  $t_{BB}$  为  $-50^{\circ}\text{C}$ , 沿途造成强雷雨大风天气, 其中大荔风速达 33 m/s。

可见, 中尺度对流云团是造成强对流天气的直接原因。冰雹、大风、强降水等是在多个中尺度对流云团东移南压演变的过程中产生的, 云顶亮温为  $-30\sim-50^{\circ}\text{C}$ , 强对流天气出现在  $t_{BB}$  冷中

心及等值线的密集区中。

### 3 湿位涡诊断分析

在  $p$  坐标中考虑大气垂直速度的水平变化比水平速度的垂直切变小得多, 当忽略  $\omega$  的水平变化时, 湿位涡 ( $P_{MV}$ ) 守恒方程<sup>[2]</sup>为:

$$P_{MV} = P_{MV1} + P_{MV2} = -g \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f \right) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right) = \text{const}, \quad (1)$$

其中  $P_{MV1}$  是湿位涡的垂直分量(正压项), 其值取决于空气块绝对涡度的垂直分量与假相当位温的垂直梯度的乘积;  $P_{MV2}$  是湿位涡在等压面上的水平分量(斜压项), 它的数值由风的垂直切变和假相当位温的水平梯度决定。湿位涡的单位为 PVU ( $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ )。

#### 3.1 700 hPa 上湿位涡分布特征

24 日 08 时, 700 hPa 上陕西中北部  $P_{MV1} < 0$ 、 $P_{MV2} > 0$ , 表明此区域大气处于对流不稳定状态。由于冷空气略偏北(与湿位涡的大值区相对应), 缺少触发机制, 因而没有产生强对流天气

24日14时, 700 hPa上 $P_{MV1}$ (图2a)的负值中心南移并加强, 陕西中北部处于 $P_{MV1}$ 等值线密集区的零线附近及 $P_{MV2}$ 的正值区;  $P_{MV2}$ (图略)迅速增大为1 PVU, 湿斜压性进一步增强。对应风场可以看到 $P_{MV1}$ 负值区域为偏南风, 不断输送水汽、能量, 使得大气对流不稳定状态进一步加强。根据倾斜涡度发展理论, 此处正是冷暖空气交汇的地带, 较强的风垂直切变和较大的假相当位温的水平梯度, 有利于水汽辐合、垂直涡度剧烈发展, 强对流天气就发生在湿位涡等值线密集区零线附近冷暖空气的交汇处。24日20时随着强对流的产生, 不稳定能量逐渐释放, 冷空气向东南方向移动, 陕北南部逐渐被 $P_{MV1}$ 正值代替,  $P_{MV2}$

正值中心值也明显减小。

25日08时700 hPa上湿位涡水平分布(图略), 陕西位于 $P_{MV1}$ 负值和 $P_{MV2}$ 正值区中, 表明此区域大气处于对流不稳定状态。与24日08时相比,  $P_{MV1}$ 负值、正值均大大增加, 说明强对流天气发生前, 700 hPa上强对流区域更加不稳定, 大气仍有斜压性,  $P_{MV1}$ 正值中心位于宁夏的东部, 冷空气更加明显, 为强对流天气的发生提供了十分有利的条件。25日14时, 关中北部有一 $P_{MV1}$ 的负值中心(图2b), 中心值达-9 PVU, 不稳定能量进一步增强, 陕北南部位于 $P_{MV1}$ 零线附近和 $P_{MV2}$ 的正值区, 开始出现强对流天气。25日20时随着陕北南部强对流天气的产生, 不稳定能量逐渐释放,

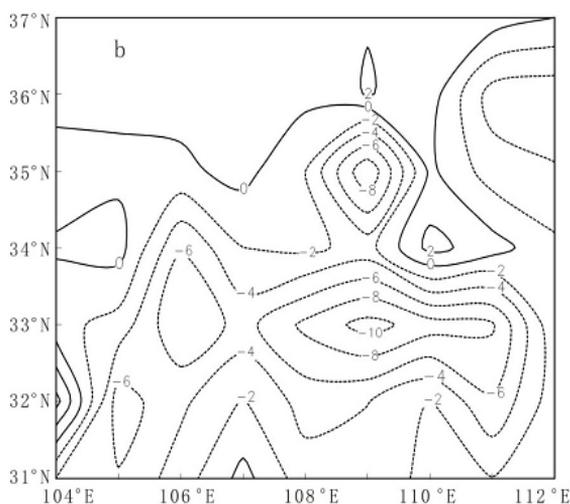
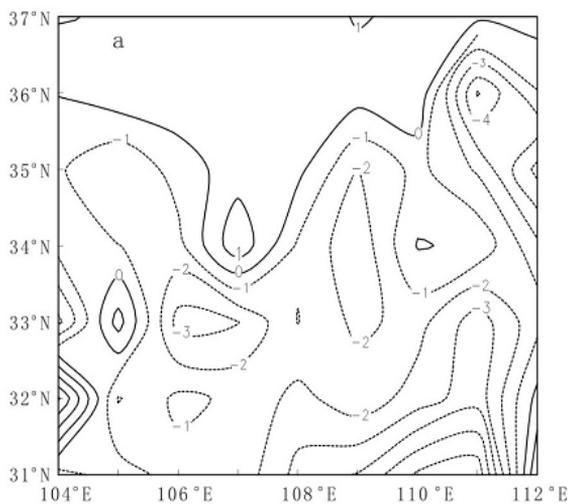


图2 2006-06-24T14 (a) 和 2006-06-25T14 (b) 700 hPa  $P_{MV1}$ 图(单位: PVU)

冷空气向东南方向移动, 湿位涡减弱。

分析这次强对流天气过程中700 hPa  $P_{MV}$ 的演变可以发现,  $P_{MV1}$ 大值与对流稳定的冷空气相联系, 较小的 $P_{MV1}$ 正值或负值区域和对流不稳定或对流稳定程度低的暖湿空气相联系, 零线及附近等值线密集区是冷暖空气交汇区, 强对流天气发生在 $P_{MV1}$ 的等值线密集的零线附近冷暖空气交汇区、较强的风垂直切变和较大的假相当位温的水平梯度的 $P_{MV2}$ 正值区。

### 3.2 湿位涡垂直分布特征

由于湿正压项 $P_{MV1}$ 比湿斜压项 $P_{MV2}$ 大, 所以湿位涡 $P_{MV}$ 的大小主要由 $P_{MV1}$ 决定。24日08时,

沿109°E的 $P_{MV1}$ 经向剖面图(图略)显示: 湿位涡最大值集中在300 hPa以上, 强对流天气(35°N~36°N)发生前, 从对流层高层有一位涡大值区向下伸展, 位涡舌(>2 PVU)范围伸展到500 hPa附近, 位于强对流天气区北侧, 表明对流层高层为对流稳定区; 对流层中低层800~500 hPa之间是负值区, 为对流不稳定区, 这种对流层高低层湿位涡“正负区垂直叠加”的配置是强对流天气发展的有利形势; 800 hPa以下为正值区, 大值中心为2 PVU, 说明强对流发生前, 近地面大气稳定并存在逆温层, 抑制对流的发生, 更有利于中低层不稳定能量的积聚。强对流天气开始时

(24日14时), 35°N附近500 hPa以下均为负值, 为对流不稳定区, 高层位涡大值区向南倾斜下伸到强对流区的500 hPa, 不稳定能量尚未释放。

由图3a可看到: 25日08时, 对流层高层湿位涡为正值, 是对流稳定区; 中低层800~600 hPa之间为负值区, 与24日相比, 中心值明显增大, 大气更加不稳定; 800 hPa以下为正值区, 与24日08时相比, 中心值也明显增大为6 PVU, 说明强对流发生前, 近地面大气层结更加稳定, 有

利于中低层不稳定能量的积聚, 这可能是25日强对流天气更加剧烈的原因之一。强对流天气开始时(25日14时, 图3b), 36°N附近上空湿位涡不再有负值, 不稳定能量已经释放; 35°N湿位涡的零线在600 hPa附近, 而600 hPa以下均为负值, 中心值达-8 PVU, 对流不稳定增强, 高层位涡大值区向南倾斜下伸到强对流区的600 hPa, 不稳定能量释放, 有利于强对流天气的发生发展。

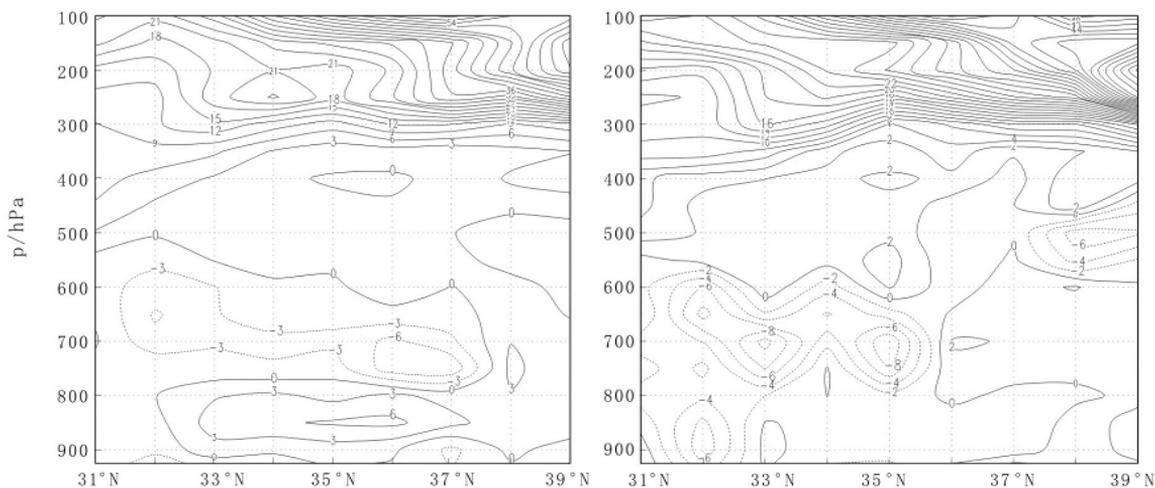


图3 2006年6月25日沿109°E  $P_{MVI}$ 剖面图(单位: PVU) (a) 08时; (b) 14时

由以上分析可知, 强对流天气上空北侧200 hPa西北风带来的干冷空气以大值位涡柱的形式向下入侵, 有利于位势不稳定能量释放。而在大值位涡北侧分离出的小值正位涡舌延伸至对流层中层, 在强对流发生区域上空与低层的扰动叠加, 根据倾斜位涡发展理论<sup>[3]</sup>, 垂直涡度将显著增长, 导致上升运动加强和水汽向上输送, 有利于强对流天气的发生发展。

## 4 结论

4.1 高空低槽、中低层切变线是这次强对流天气的主要影响系统, 中尺度对流云团是造成此次强对流天气的直接原因。强对流天气出现在云顶亮温  $t_{BB}$  的冷中心及等值线的密集区中。

4.2 强对流发生前, 近地面存在明显的逆温层, 有利于中低层不稳定能量的积聚。强对流的发生

发展与湿位涡的时空演变有很好的对应关系, 对流层高低层湿位涡“正负区垂直叠加”的结构是强对流天气发展的一种有利配置。强对流天气发生在低层湿位涡正压项的等值线密集的零线附近及湿斜压项的正值区。

## 参考文献:

- [1] 卢乃锰, 吴蓉璋. 强对流降水云团的云图特征分析[J]. 应用气象学报, 1997, 8(3): 269-275.
- [2] 齐琳琳, 赵思雄. 一次热带低压引发上海特大暴雨中的中尺度系统分析[J]. 大气科学, 2004, 28(2): 254-268.
- [3] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓青. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 387-404.