

文章编号: 1006-4354 (2012) 01-0001-04

2010-07-23 陕西中西部大暴雨天气诊断分析

牛乐田¹, 石小龙², 胡伟¹, 李祥林¹

(1. 咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000; 2. 大连市气象局, 辽宁大连 116001)

摘要: 利用常规气象观测资料, NCEP $1^\circ \times 1^\circ 6$ h 分析资料, 对 2010 年 7 月 23—24 日发生在陕西中西部地区一次区域性大暴雨天气过程进行诊断分析, 结果表明: 副高与登陆台风“灿都”间形成的偏南暖湿急流、中低层低涡切变线是大暴雨产生的主要影响系统; 深厚略倾斜的高空冷涡为暴雨区高空干冷侵入创造条件, 为大暴雨发生积累大量不稳定能量; 对流层高低层湿位涡“正负区垂直叠加”的结构是暴雨发展的有利配置, 暴雨区发生在 700 hPa 湿位涡正压项的零线附近及负值区等值线密集区中。

关键词: 暴雨; 低涡切变线; 湿位涡; 低空急流

中图分类号: P458.1211

文献标识码: A

暴雨是我国主要的灾害性天气之一, 通常产生在有利的大尺度环流背景下, 由中小尺度天气系统发展而成, 气象工作者对此进行了诸多研究。位涡是一个反映大气热力和动力性质的物理量, 国内外很早就已经用位涡理论来分析天气学问题了。寿绍文^[1]对位涡及位涡理论的发展和應用做了详细介绍。吴国雄等^[2]对江淮流域暴雨过程的湿位涡分析表明湿位涡是暴雨诊断和预报的有利工具。陶建玲等^[3]研究表明强对流发生发展与湿位涡的时空演变有很好的对应关系。陶诗言^[4]研究表明了暴雨常常发生在低空急流的左前方。刘子臣等^[5]研究表明, 登陆台风外围低空急流与西风带低值系统的共同作用以及地面冷锋的动力抬升有利于黄土高原东部暴雨发生发展。杜继稳等^[6]研究表明, 中高纬度西风带深厚、稳定的河套低涡所具有的位势不稳定特征为暴雨区附近强烈上升运动的发展和维持提供有利的动力条件。

利用 MICAPS 常规气象观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ 6$ h 分析资料、陕西省加密观测资料, 对 2010 年 7 月 23—24 日陕西中西部大暴雨天气的环流形势、影响系统及物理量进行分析, 尝试找出此类灾害性天气的形成机理及湿位涡场的特征与强降水的关系, 以加深对此类暴雨的认识, 探索此类

天气的预报思路。

1 天气概况

2010 年 7 月 23 日 08 时至 24 日 08 时, 陕西中西部出现区域性大暴雨天气, 全省共 38 个县(区)雨量超过 50 mm, 有 16 个县(区)雨量超过 100 mm, 陇县、彬县、镇巴累计雨量超过 200 mm。洛川、宜君、长武、彬县、潼关等 5 县降水突破 1961 年以来最大降水量极值。另据区域自动气象站观测资料, 共有 118 个乡镇雨量超过 100 mm, 20 个乡镇雨量超过 200 mm, 宝鸡市陇县东风镇、杜阳镇、东南镇累计雨量高达 350.7 mm、346.7 mm、320.4 mm。强降雨为历史罕见, 造成多处滑坡、电力、通信受阻和房屋倒塌, 带来巨大的经济损失。

2 环流形势演变和影响系统

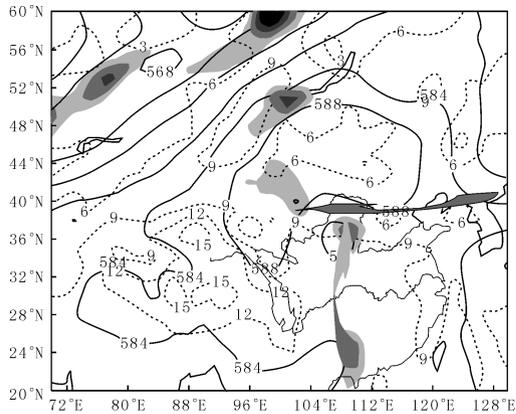
从 23 日 08 时至 24 日 08 时 300 hPa 高度场上看出, 青藏高压非常强盛, 高压中心位于青海中部, 高压外围东北风有利于河套地区高层辐散风场维持, 与中低层低涡辐合系统相配合, 为大暴雨的产生提供有利的动力条件。西安—延安—东胜—银川—平凉之间存在较强的低涡辐合, 此低涡在降水期间始终维持(图略)。如此深厚的冷涡长时间维持非常罕见, 此冷涡即是引起此次罕

收稿日期: 2011-06-22

作者简介: 牛乐田(1980—), 男, 陕西户县人, 学士, 工程师, 从事短期天气预报。

见降水的主要影响系统。

张淑敏^[7]等研究此次暴雨前后 500 hPa 和 700 hPa 形势场表明: 稳定少动的副热带高压和高原东移低槽构成了大暴雨天气的环流背景, 低层低涡切变线、低空急流是大暴雨产生的主要影响系统, 台风“灿都”在广东登陆后减弱为热带气旋, 其外围暖湿气流为暴雨的形成提供了充足的水汽。由图 1 可见, 热带气旋中心北侧有大于 14 m/s 的偏南风急流存在, 急流的位置和方向是从广西经湖南—湖北一直延伸至陕西中西部。另外, 从山东渤海湾—河北—山西—陕西中北部—宁夏有偏东风发展, 最大风速超过 12 m/s, 偏南风急流与上述偏东风急流在大暴雨发生区相交。



阴影区为 700 hPa 风速超过 12 m/s 区域; 箭头为低空急流带

图 1 2010-07-23T20 500 hPa 形势场

(实线, 单位为 dagpm) 和 700 hPa 比湿(虚线, 单位: g/kg)

从 23 日 08 时至 24 日 08 时地面图上, 高原以东地区由东北—西南向暖脊控制, 陕西处于其底部, 暴雨发生期间, 河套地区出现了弱降温, 但东路冷空气的下滑补充起到了强有力的触发作用。

3 热力动力条件

利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ 6$ h 分析资料进行物理量诊断分析。

3.1 能量分析

23 日 08 时, 850 hPa θ_{se} 场上 (图略), 四川西北部—甘肃东南部有 θ_{se} 高值区, 高能线呈西南—东北走向, 反应的是一股高能、不稳定的暖湿气流。高值中心达 95°C , 陕西中西部处于高值区外围等值线稀疏区。23 日 20 时, θ_{se} 高值中心仍

然存在, 但中心强度有所减弱, 从青藏高原及华北分别有两路干冷空气向南扩散, 在四川北部—陕西西南部交汇, 陕西中西部位于高能区右侧能量锋区中。从 θ_{se} 的演变看出: 该高能区是副高外围偏南气流向暴雨区输送了大量的水汽和不稳定能量。低能区东北路冷空气阻挡暖湿气流扩散, 使低层辐合加强, 强降水就出现在高能锋区附近。从 θ_{se} 108°E 剖面图上, 暴雨开始时, 23 日 20 时 (图 2), 500~700 hPa 高空有东北路干冷空气从上到下倾斜侵入暖气团, 而中层由于干冷空气的侵入在暴雨区 (34°N ~ 36°N) 上空形成上干下暖湿的不稳定区, $\Delta\theta_{se(500-850)} < -5^\circ\text{C}$, 暴雨区上空为 θ_{se} 等值线密集的高能量锋区, 由此可以看出, 高层东北风引导干冷空气与低层偏南暖湿气流在暴雨区形成了上干下湿的不稳定结构, 不稳定能量的积累和释放酿成了陕西中西部区域性大暴雨。

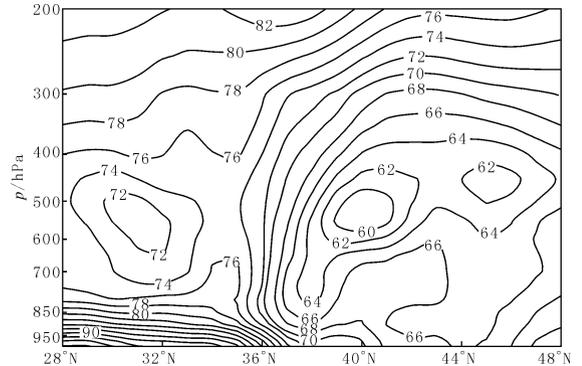


图 2 2010-07-23T20 θ_{se} 沿 108°E 剖面图 (单位: $^\circ\text{C}$)

3.2 水汽条件分析

3.2.1 比湿 700 hPa 比湿场上, 23 日 08 时, 从云贵高原—四川盆地有中心为 16 g/kg 的湿区, 陕西中部比湿约 8 g/kg (图略), 此后随着副高缓慢东退, 台风“灿都”外围偏南风水汽输送, 该湿区中心逐渐北伸东移。23 日 20 时 (图 1), 湿舌头部伸到陕西中部, 高原东部到陕西中部一带有宽广的湿区, 暴雨区的比湿超过 9 g/kg。

3.2.2 水汽通量 23 日 08 时, 700 hPa 从孟加拉湾至高原东部有一宽广水汽通道, 通向陕西南部与四川交界处, 约为 $80\sim 100\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 。暴雨开始时, 23 日 20 时 (见图 3), 水汽通

量大值区位于关中北部和陕北南部, 中心迅速增至 $180 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 36°N 以南为西南风, 大量的暖湿气流输送至陕西中西部暴雨区, 36°N 以北为东北偏东风, 引导冷空气南下, 在陕西中部地区激烈交汇。到 24 日 08 时 (图略), 东北偏东风强度有所增大, 中心风速大于 20 m/s , 且位置南压, 说明冷空气已经向西南扩散, 陕西中西部水汽通量值减弱为 $60 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 西南风虽然存在, 但强度减弱, 陕西中西部地区转为一般性降水。

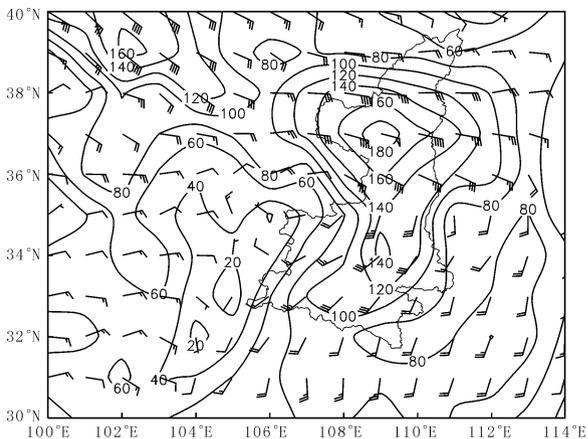


图3 2010-07-23T20 700 hPa 水汽通量
(单位: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) 和风向

3.3 湿位涡正压项特征分析

3.3.1 700 hPa 湿位涡正压项分布特征 在 p 坐标系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 ω 的水平变化时, 湿位涡 (V_{MP}) 守恒方程为:

$$\mathbf{V}_{MP} = \mathbf{V}_{MP1} + \mathbf{V}_{MP2} = -g \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f \right) \\ \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) = \text{const}$$

其中 \mathbf{V}_{MP1} 是湿位涡的垂直分量 (正压项), 其值取决于空气块绝对湿度的垂直分量与假相当位温的垂直梯度的乘积; \mathbf{V}_{MP2} 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 ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{Ks}^{-1} \text{kg}^{-1}$)。由于湿位涡正压项 \mathbf{V}_{MP1} 比斜压项 \mathbf{V}_{MP2} 大, 所以湿位涡的大小主要由湿正压项 \mathbf{V}_{MP1} 决定^[8]。

在 700 hPa 湿位涡正压项的水平分布图 (图略) 上, 23 日 08 时, 暴雨发生前, 整个西北地区均处于 \mathbf{V}_{MP1} 负值区中, 负值中心在甘肃东南部到宁夏之间, 陕西中西部为 $-0.2 \sim 0$ PVU, 说明陕西中西部处于大气对流不稳定状态, 湿位涡正值中心位于内蒙古—华北北部, 说明冷空气位于内蒙古—华北北部一带, 距离陕西较远, 不利于触发陕西强对流发生。23 日 20 时 (图 4), 700 hPa 甘肃东南部—宁夏南侧有一 \mathbf{V}_{MP1} 的负值中心, 中心值为 -6.0 PVU, 陕西关中东部—山西—华北南部有一 \mathbf{V}_{MP1} 的负值中心, 负值中心位于山西中部, 中心超过 -10.0 PVU, 在上述两 \mathbf{V}_{MP1} 的负值之间有弱的 \mathbf{V}_{MP1} 正值区, 湿位涡零线沿陕西南部—关中中部—河套—内蒙古东部, 陕西中西部大部分地区处于 \mathbf{V}_{MP1} 零线附近及负值区等值线密集区, 量值中心增大到 -6.0 PVU, 低层急流将减弱后的热带气旋外围大量水汽、热量向北输送, 促使陕西中西部大气处于强烈对流不稳定状态。从内蒙古经河套的狭长冷空气输送带直至陕西中西部。在 \mathbf{V}_{MP1} 等值线相对密集的零线附近, 正是冷暖空气交汇的地带, 有利于水汽辐合、垂直涡度迅速发展, 暴雨就发生在湿位涡的零线附近冷暖空气交汇区及负值区等值线密集的暖区中。随着暴雨发生, 不稳定能量逐渐释放, 陕西中西部上空的 \mathbf{V}_{MP1} 负值逐渐减小。24 日 08 时, 陕西中西部仍为负值区控制, 但强度减弱为 $-2 \sim 0$ PVU, 对应的强降水已经结束, 转为一般性降水。

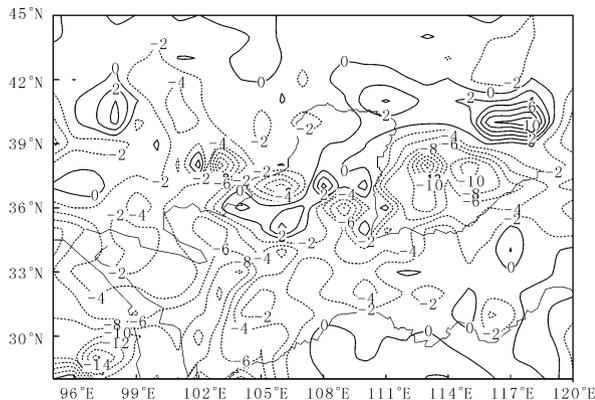


图4 2010-07-23T20 700 hPa
湿正压位涡图 (单位: PVU)

分析这次大暴雨天气过程, 700 hPa V_{MPI} 的演变过程可以发现, V_{MPI} 高值与对流稳定的冷空气相联系, 较小的 V_{MPI} 正值或负值区域与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相互作用区域, 暴雨区发生在湿位涡的零线附近及负值区等值线密集的暖区中。

3.3.2 湿位涡正压项垂直分布特征 从沿暴雨区 108°E V_{MPI} 的径向剖面图 (图略) 看到, 湿位涡最大值集中在 300 hPa 以上, 暴雨发生之前, 23 日 08 时, 从对流层高层有一位涡大值区向下伸展, 位涡舌 (>4 PVU) 范围伸展到 600 hPa 附近, 从北侧伸入到暴雨区, 表明对流层高层为对流稳定区; 对流层下部 700 hPa 以下对应为负值区, 说明低层为对流不稳定区。暴雨开始时 (23 日 20 时, 图 5), 暴雨区 ($34^{\circ}\text{N}\sim 36^{\circ}\text{N}$) 湿位涡的零线在 850 hPa 附近, 850 hPa 以下对应为负值区, 为对流不稳定区。对流层高层有一位涡大值区向下伸展到 700 hPa, 在其两侧 600 hPa 有弱的负值中心, 高层正位涡大值呈柱状向下伸展。高层高位涡区向南倾斜下伸到暴雨区的 700 hPa, 对流不稳定高度降低, 不稳定能量开始释放。

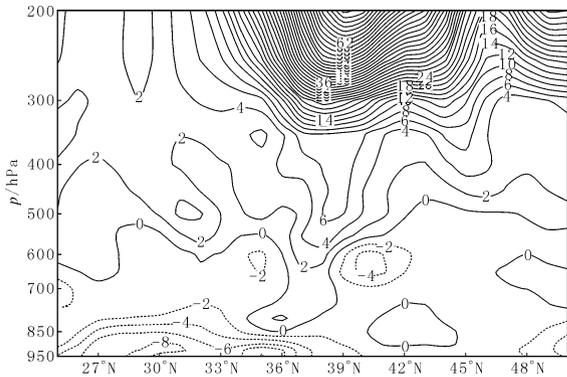


图 5 2010-07-23T20 沿 108°E 湿正压位涡剖面图 (单位: PVU)

综上, 暴雨区上空北侧 300 hPa 干冷空气以大值位涡柱的形式向下入侵, 对流层高层的大值位涡下传, 使具有高空大值位涡的冷空气叠加在低层扰动所对应的负位涡中心之上, 有利于位势不稳定能量释放。根据倾斜位涡发展理论, 当具有高湿位涡的冷空气沿等熵面下滑时, 将要经过

稳定性逐渐减弱的环境大气, 导致其绝对涡度增大, 垂直涡度将显著增长, 导致上升运动加强和水汽向上输送, 有利于暴雨天气发生发展。

4 结论

4.1 中高层深厚冷涡、700 hPa 低涡切变线是这次暴雨的主要影响系统。副高东退、登陆台风外围偏南风急流向暴雨区输送大量水汽和不安定能量。

4.2 从水汽条件来看, 沿低空急流的水汽通量为暴雨直接输送暖湿空气, 水汽通量大值中心由急流出口左侧风速辐合和切变线两侧的风向辐合造成。

4.3 暴雨的发生与湿位涡的时空演变有很好的对应关系, 湿正压位涡零线附近等值线密集区是冷暖空气相互作用的区域, 暴雨就发生在低层湿位涡的零线附近冷暖空气交汇区及负值区等值线密集的暖区中。高层正的高值位涡的下传有利于气旋性涡度的发展, 低层的负涡度区有利于对流的发展, 两者结合有利于暴雨的发展。

参考文献:

- [1] 寿绍文. 位涡理论及其应用 [J]. 气象, 2010, 36 (3): 9-18.
- [2] 吴国雄, 蔡亚萍, 唐晓青. 湿位涡和倾斜涡度发展 [J]. 气象学报, 1995, 53 (4): 387-404.
- [3] 陶建玲, 郭大梅, 许新田, 等. 湿位涡在陕西一次强对流天气中的应用分析 [J]. 陕西气象, 2008 (6): 19.
- [4] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 42-44.
- [5] 刘子臣, 梁生俊, 张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响 [J]. 高原气象, 1997, 16 (4): 402-409.
- [6] 杜继稳, 张弘, 梁生俊, 等. 青藏高原东北侧突发性暴雨分析研究与应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 23-30.
- [7] 张淑敏, 李伟, 周丹, 等. 渭北 2010 年 7 月下旬区域性大暴雨天气过程分析 [J]. 陕西气象, 2011 (3): 9.
- [8] 郭大梅, 许新田, 刘勇, 等. 陕西中西部一次突发性大暴雨过程分析 [J]. 气象, 2008, 34 (9): 40-46.