

武麦凤, 乔舒婷. 渭河流域中尺度暴雨时空分布及环流特征[J]. 陕西气象, 2019(2): 1-7.

文章编号: 1006-4354(2019)02-0001-07

# 渭河流域中尺度暴雨时空分布及环流特征

武麦凤, 乔舒婷

(渭南市气象局, 陕西渭南 714000)

**摘要:**制定渭河流域中尺度暴雨天气个例标准, 筛选符合标准且资料完整的 62 个中尺度暴雨历史个例作为研究对象, 分别对其时空分布特点、发展移动路径和环流场的结构配置特征进行分析和研究。结果表明, 渭河流域中尺度暴雨主要出现在 7—8 月; 空间分布上渭河主干道, 黄河、洛河、渭河三河交界处和泾河、洛河、渭河三河交界处出现的次数较多; 渭河流域中尺度暴雨的日变化与冰雹完全不同, 夜间出现的频率高于白天, 共有 5 条移动路径, 由西北向东南方向(或由西向东)移动的个例占有个例数的 91.9%; 中尺度暴雨有 4 种概念模型, 干侵入型、西南气流型、干锋生型和暖干型。

**关键词:**中尺度暴雨; 时空分布; 结构配置; 移动路径; 概念模型

**中图分类号:** P448; P468.028

**文献标识码:** A

在渭河流域强对流天气中, 尤以中尺度暴雨的发生概率最大。近年来, 渭河流域气象工作者对渭河流域暴雨形成机理和特征做了大量的研究<sup>[1-6]</sup>, 发现了很多观测事实<sup>[7-14]</sup>, 并得出渭河流域暴雨概念模型<sup>[15]</sup>。对于中尺度暴雨过程及典型个例<sup>[16-17]</sup>, 也做了相应的研究, 但目前为止, 对于渭河流域中尺度暴雨还没有进行过系统性的分析与总结。基于此原因, 本文收集整理了近 10 a 来渭河流域强对流天气个例, 统计分析日降水量 $\geq 50$  mm 的降雨过程中逐小时降水量和落区变化特点, 制定了渭河流域中尺度暴雨标准。并在此基础上, 研究了渭河流域中尺度暴雨的时空分布特点及其移动的路径规律, 进而研究了中尺度暴雨的影响系统、结构配置等特点。

## 1 渭河流域中尺度暴雨天气个例标准

统计典型的强降雨天气过程时, 将渭河流域划分为渭河上游(宝鸡以西)、渭河中游(宝鸡到

西安之间)、渭河下游(西安至渭南渭河入黄口)三个子流域分别统计。本文根据统计数据、结合中国气象局强对流天气标准, 定义渭河流域中尺度暴雨的雨量标准为: 气象站日降雨量 $\geq 50$  mm, 且其中有任意连续 3 h 降雨量 $\geq 30$  mm 或者任意 1 h 降雨量 $\geq 20$  mm; 暴雨落区标准为: 渭河流域任一子流域中有成片 3 个或以上气象站雨量达到以上雨量标准时, 定义为某一子流域有一次中尺度暴雨天气过程; 当 3 个子流域均达到以上标准时, 定义为整个流域的一次中尺度暴雨天气过程。

## 2 资料来源

选取陕西省各气象站的地面观测资料, 统计 2007-01-01—2016-12-31 期间渭河流域地面观测降雨量数据, 根据定义符合条件的中尺度暴雨天气个例共 97 例(其中渭河上游 21 例、渭河中游 39 例、渭河下游 37 例)。在确定中尺度暴雨的路径时, 除了采用小时降雨量外, 还辅助

收稿日期: 2018-06-27

作者简介: 武麦凤(1972—), 女, 汉族, 陕西蒲城人, 正高级工程师, 主要从事天气预报及其研究工作。

基金项目: 2016—2017 年度省局各单位火车头创新团队项目“渭河流域暴雨预报预警技术及应用研究”和 2018 年省局各单位创新团队项目“渭南市旅游气象服务研究”以及 2018 年渭南市气象局科研项目“渭河流域中尺度暴雨概念模型准入检验(2018wk-4)”项目共同资助。

采用了西安多普勒雷达 1.5°仰角的基本反射率因子资料。收集和整合资料后,确定了资料完整、有研究意义的中尺度暴雨个例62例。

### 3 渭河流域中尺度暴雨的时空分布特点

#### 3.1 时间分布

从渭河流域中尺度暴雨月际分布(表1)可知,渭河流域中尺度暴雨发生在4—9月,其中6—8月出现的中尺度暴雨占全年总次数的91.9%(57/62)。8月渭河流域出现中尺度暴雨的概率最大,7月次之,这也是渭河流域将7—8月作为主汛期的重要依据之一。6月发生中尺度暴雨的概率位居第三,9月第四。极大小时雨强(表1)与中尺度暴雨的分布规律相似,即出现中

尺度暴雨几率越大的月份,其极大小时雨强也越大。这主要是因为,8月,西太平洋副热带高压已经北跳到30°N以北并在此南北摆动,其外围从太平洋带来的高温高湿气流被输送到了渭河流域,导致当地气温高,能量积累快,这些条件在全年的其他月份是很难满足的,因此无论是高空有冷空气入侵还是近地层有冷空气扩散,都很容易形成对流性天气,加之当地有比较充足的水汽含量和副高外围源源不断的水汽输送,出现的强对流天气以中尺度暴雨为主便成为必然,而且中尺度暴雨强度大,范围广,持续时间相对较长,降雨总量也大。

表1 2007—2016年渭河流域中尺度暴雨个例月合计及各月极大小时降雨量

月份	4月	5月	6月	7月	8月	9月
月合计/个	1	1	8	24	25	3
极大小时降雨量/mm	14.3	22.5	35.4	72.0	92.0	42.6

从渭河流域中尺度暴雨年际分布(图1)情况来看,2010年出现的中尺度暴雨次数最多,2009年次之,2013年和2008年同时居第三位。2014—2016年,每年都有6次中尺度暴雨出现,主要出现在7月和8月,渭河上、中、下游均有出现,且最大雨强(图2)为46.8~66.6 mm/h。2014年最大小时降雨量出现在7月,其余两年均出现在8月,但均未突破历史极值。值得一提的是2016年6月11日,渭河流域中下游出现中尺度暴雨,最大小时雨强为35.4 mm/h,为近10年来6月出现的极端最大小时降雨量。

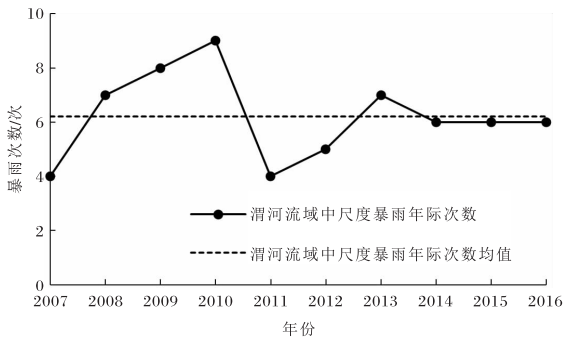


图1 2007—2016年渭河流域中尺度暴雨年际分布

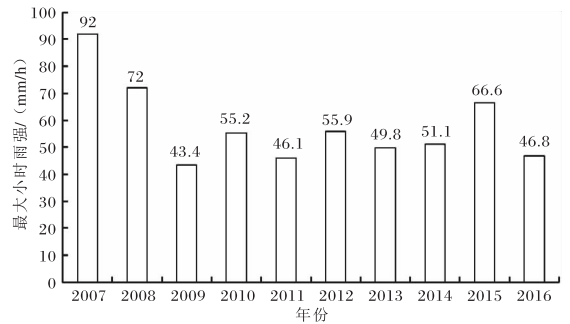


图2 2007-01-01—2016-12-31渭河流域中尺度暴雨各年最大小时雨强

着重统计分析6—8月渭河流域中尺度暴雨的年际分布状况(图3)和各年的小时极大雨强(图4),可以看出渭河流域每年6—8月都有5~7次中尺度暴雨出现,但时间分布不均匀。特别是6月的中尺度暴雨出现次数,对7、8月出现中尺度暴雨次数有较好的预报意义:即6月最多会出现2次中尺度暴雨过程,如果6月出现了2次中尺度暴雨过程,那么7月、8月出现中尺度暴雨的次数将不超过3次;但若6月不出现中尺度暴雨,那么除了特别少雨的年份外,7月出现中尺度暴雨的次数一般都会超过3次。这一点可以作为气

候预测的一个依据。另外,当年的小时极大降雨量大部分出现在当月中尺度暴雨次数较多的月份。

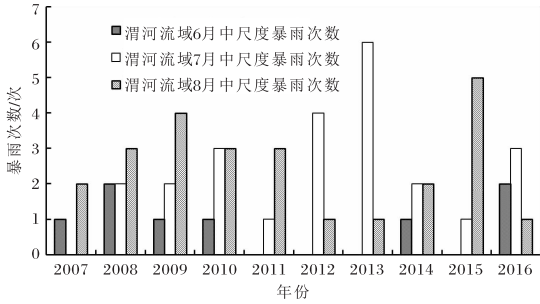


图3 2007—2016年渭河流域6—8月中尺度暴雨年际分布

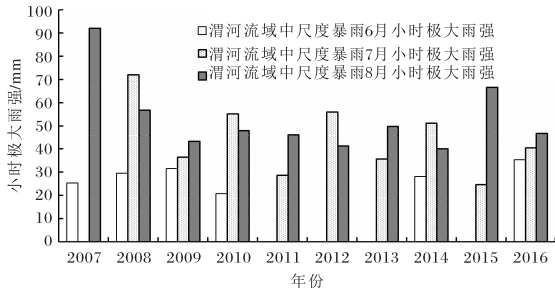


图4 渭河流域6—8月中尺度暴雨小时极大降水量年变化

分月统计不同流域中尺度暴雨的分布特点(图5)可以得出,渭河中游中尺度暴雨出现的时间比较早,4月就有可能出现;渭河下游近10年来最早是5月。就出现的总次数来看,渭河中游出现中尺度暴雨的次数最多,下游次之,上游最少。渭河中游的中尺度暴雨过程出现次数最多的月份为8月,而渭河上游和下游则是7月最多,8月次之。6月渭河下游出现中尺度暴雨的次数最多。

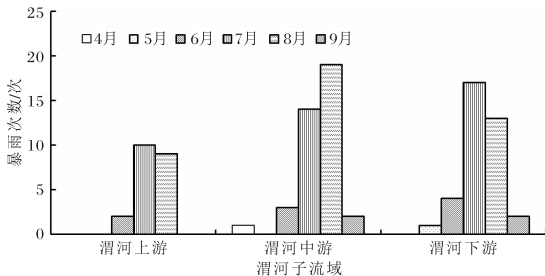


图5 2007—2016年渭河不同流域中尺度暴雨的月际分布

分析渭河流域中尺度暴雨的日变化情况可看出(图6),渭河流域中尺度暴雨发生的特点是夜间多于白天,18:00—22:00是中尺度暴雨出现的最高时间段,10年来该时段出现中尺度暴雨的频次均在40次以上,19:00中尺度暴雨频次最高,10年来出现在19:00的中尺度暴雨多达61次,是14:00(中尺度暴雨出现频率最低的时次)出现频次的8.7倍;17:00以及23:00—02:00为中尺度暴雨出现频率的次高时段,该时段的每个时次10年来都有出现过30次以上中尺度暴雨天气过程。值得一提的是渭河流域中尺度暴雨出现频率最低的时段为12:00—15:00,10年来该时段内出现的中尺度暴雨频次均在25次以下,最低频次出现在14:00,仅有7次,这与冰雹的日变化完全不同<sup>[18-20]</sup>。

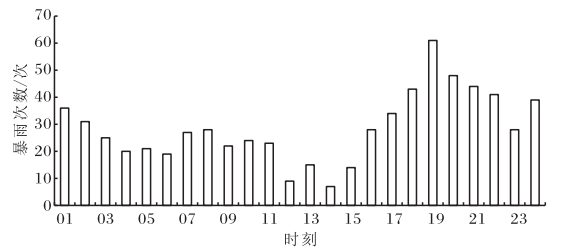


图6 2007—2016年渭河流域中尺度暴雨的时次分布

### 3.2 渭河流域中尺度暴雨的空间分布特点

从逐月分析渭河流域中尺度暴雨的分布特点发现,渭河流域中尺度暴雨主要分布在渭河主干流、洛河流域和泾河流域,其中6月的中尺度暴雨(图7a)主要出现在渭河中下游主干流,沿洛河和泾河流域出现的中尺度暴雨很少。7月(图7b)黄河、洛河、渭河三河交界处中尺度暴雨出现的频率最高,渭河和泾河交界处出现的频率次之。8月中尺度暴雨(图7c)出现的地点与7月不同。首先,泾河流域较洛河流域出现中尺度暴雨的频率高;其次,黄洛渭、泾渭河交界处中尺度暴雨出现的频率较7月急剧下降,渭河主干流中尺度暴雨出现频率依然较高。9月(图7d)与6月中尺度暴雨分布类似,大多沿渭河主干流分布。

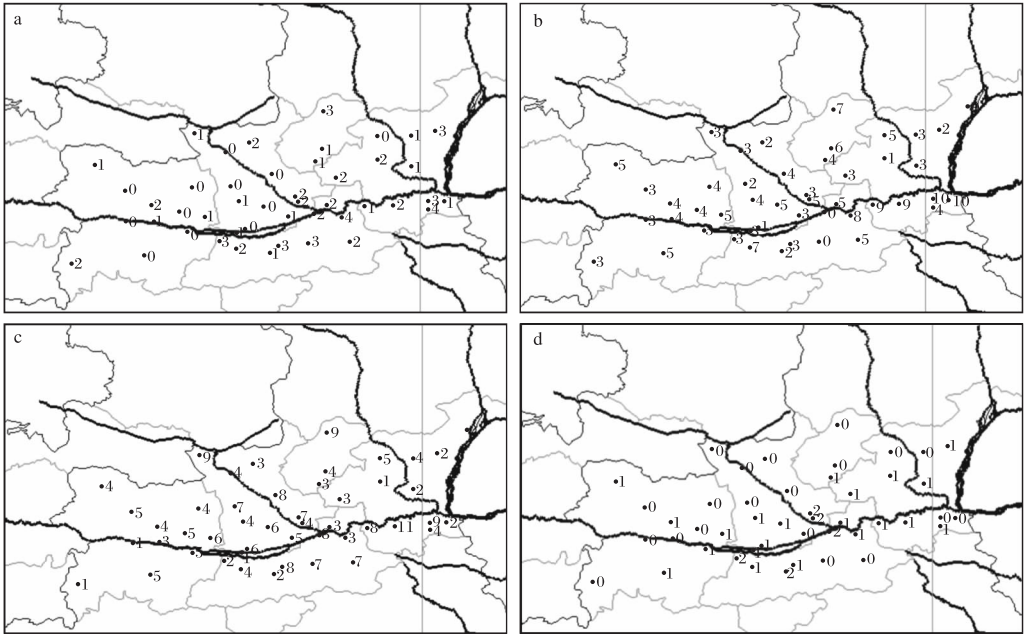


图7 2007—2016年渭河流域各月中尺度暴雨分布(a 6月,b 7月,c 8月,d 9月)

#### 4 移动路径

通过雷达资料和逐小时强降水,总结概括出中尺度暴雨的5条移动路径(图8,见下页),其中有3条路径都是自西(或者西北)移向东(或者东南)(图8a),这3条路径个例占整个中尺度强对流天气个例数的74.4%(表2)。路径①的中尺度暴雨天气起源于北洛河,并沿北洛河南下或东移,南下经过延安的黄陵进入渭南境内,影响白水、大荔,严重时越过渭河,影响华阴和潼关;中尺度暴雨天气在进入渭南境内时,有时会东移,影响渭南北部四县。路径②的中尺度暴雨天气过程产生于灵台和长武之间(达溪河)和泾河上,发展后东移南压,经铜川东移南压影响渭南的蒲城、大荔,甚至越过渭河,影响到华阴和潼关。路径③中的中尺度暴雨天气一般是西风槽影响下产生的,受西风槽东移影响,强对流天气从西向东移动,一般持续时间较长,移动路径也较长,从渭河上游经过渭河中游移向渭河下游,或者从泾河流域经渭河中游移向渭河下游。路径④和路径⑤是自西南移向东北方向的(图8b)。这两种路径一般影响范围较小,持续时间短,且占中尺度暴雨天气个例的比例较小,但是这两类路径影响下形成的中尺度暴雨强度大、发展快、可预报时效短,且大部分出现

在山区,所以该类中尺度强对流天气的预报难度更大。图8b中可以看出,路径④中中尺度暴雨天气产生于临潼和高陵之间(即渭河中游)或者高陵和富平之间,向东北移动过程中影响渭南中北部。路径⑤中中尺度暴雨天气一部分产生于西安和蓝田之间(灞河上),向东北移动的过程中发展,移动到渭河上空加强,并沿渭河东移,影响渭南南部县域;另一部分是产生于南洛河上,出山后向潼关和华阴方向移动的过程中加强,影响渭河下游的华阴和潼关。

表2 渭河流域中尺度暴雨天气过程移动路径

路径	路径①	路径②	路径③	路径④	路径⑤
个例数/个	13	7	9	3	7
占比	33.3%	17.9%	23.1%	7.7%	17.9%

#### 5 渭河流域中尺度暴雨环流特征

利用高空、地面天气图对所有个例的影响系统、结构配置进行研究和归类,归纳出4种渭河流域中尺度暴雨类型,分别为:干侵入型、西南气流型、干锋生型和暖干型。再结合典型个例阈值特点、演变规律以及暴雨落区特点,凝练出4种渭河流域中尺度暴雨类型的环流特征(图9,见下页)。

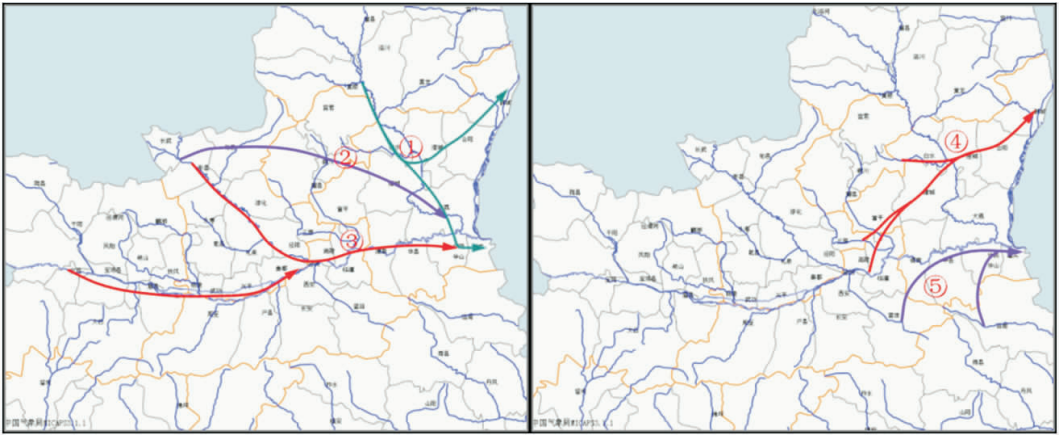


图8 2007—2016年渭河下游中尺度强对流天气个例移动路径

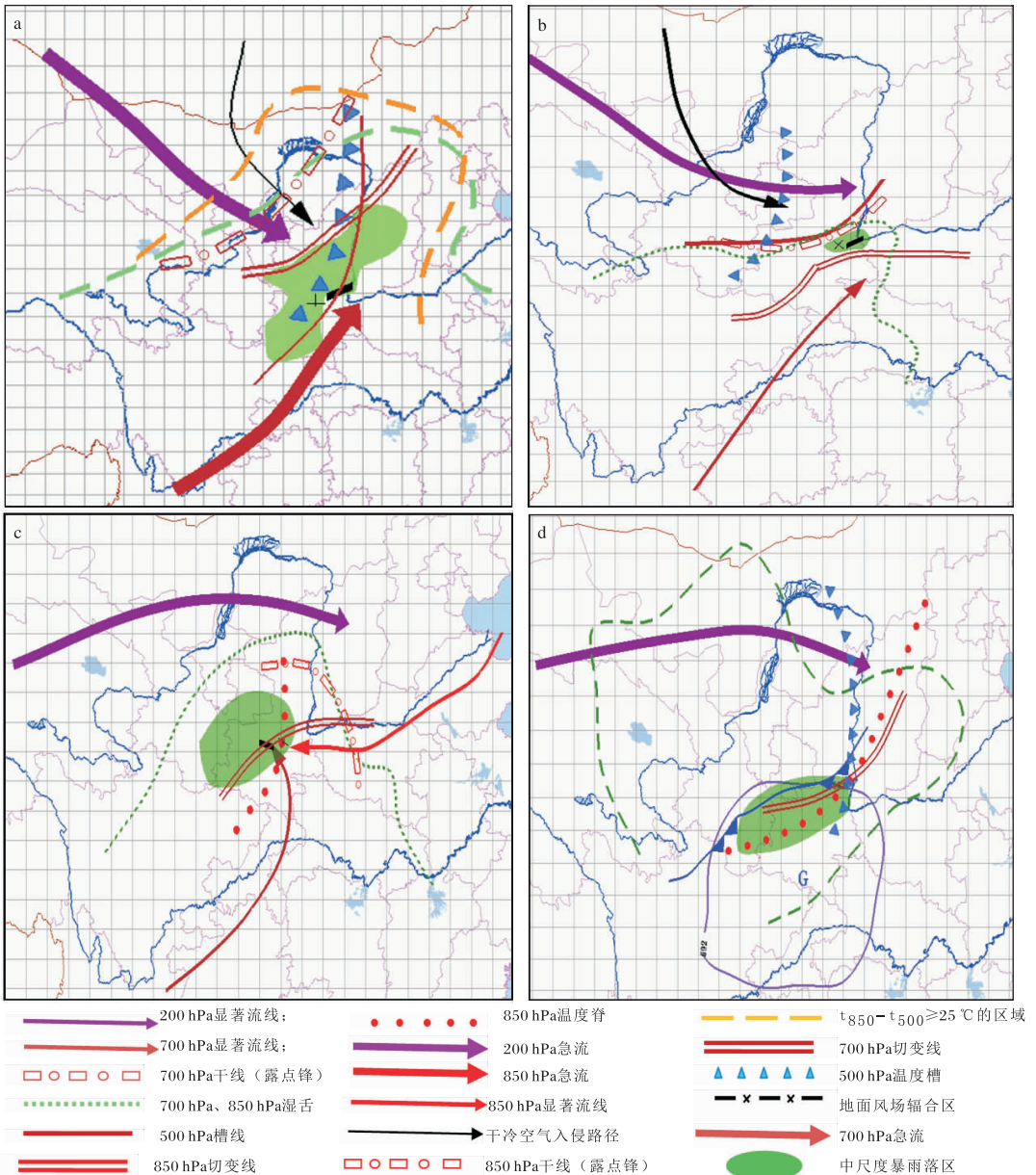


图9 渭河流域中尺度概念模型(a 干侵入型, b 西南气流型, c 干锋生型, d 暖干型)

### 5.1 干侵入型

500 hPa 天气图上以移动性低槽为主,槽线位于 700 hPa 切变线前,700 hPa 或者 850 hPa 高湿区与冷切变尾部辐合相伴,地面伴有辐合线(区)活动。暴雨区上空存在较强不稳定,850~500 hPa 有较强的垂直温度梯度,850~700 hPa 为深厚的湿舌(区)。此型的主要特点是 500 hPa 低槽东移较快,槽后干冷空气与 700 hPa 切变线前的暖湿气流形成明显的前倾结构,其干冷的下沉气流与低层暖湿气流上下配置,形成强烈的对流不稳定;在 700 hPa、850 hPa 冷式切变东移过程中,其尾部偏北干冷空气与来自南侧的暖湿气流汇合,进一步促进了次级环流的发生发展,配合地面冷空气入侵,不稳定、水汽条件最集中的区域产生暴雨。暴雨主要位于 700 hPa 切变线前与 500 hPa 槽后的重叠区域内、700 hPa 和 850 hPa 任一层冷切变尾部辐合区、850 hPa 暖切变顶部辐合区以及地面辐合线、K 指数大值区与湿舌(区)重叠处。

### 5.2 西南气流型

700 hPa 以下西南暖湿气流发展旺盛,常有急流相伴,与高层偏西急流右侧相耦合,湿区 700 hPa 及 850 hPa 有气流汇合区、冷切变尾部辐合区、地面伴有辐合线(区);暴雨区上空存在较强不稳定,850~500 hPa 有较强的垂直温度梯度,850~700 hPa 为深厚的湿舌(区)。由于 700 hPa、850 hPa 西南暖湿气流发展强烈,北部或者西北部有弱干冷空气向南输送,在干湿气团交界处形成一条准静止干线(露点锋),其北侧干冷空气穿过干线(露点锋)不断向湿区渗透,在湿空气一侧形成强烈扰动。同时由于 700 hPa、850 hPa 盛行西南风,低层弱冷空气的强迫抬升作用使暖湿气流沿着低层锋面上滑,在地面辐合线(区)附近形成强烈的上升运动,导致不稳定能量的释放,在动力、不稳定、水汽条件最集中的区域产生暴雨。暴雨主要位于低空急流左侧或者出口区 100 km 附近、850 hPa 准静止干线(露点锋)湿区一侧 100~200 km 处、700 hPa 和 850 hPa 气

流汇合区、地面辐合线与暖切变顶部辐合区、K 指数大值区与湿舌(区)重叠处。

### 5.3 干锋生型

华北冷高压底部 850 hPa 有干线存在,其南侧有 700 hPa 西南气流与 850 hPa 东风气流汇合区以及西南急流与 200 hPa 高空急流右侧辐散区耦合,地面伴有辐合线(区)。K 指数大值区在暖切变顶部辐合区和气流汇合区附近重叠,500 hPa 温度槽或者 850 hPa 以下温度脊配合,低空急流左前侧有湿舌(区)存在。华北冷涡稳定少动,高压底部偏东气流逐渐加强,一方面,干冷空气随着偏东气流在此堆积;另一方面,东部来自黄海或者东海的水汽向暴雨区输送,同时南方低空急流发展加强,暖湿空气随着低空急流向北输送,西南急流和高压底部偏东气流在暴雨区汇合,其北侧干冷空气和南侧暖湿气流之间形成露点锋生。500 hPa 温度槽随西北气流逐渐东移,西南气流的发展加强,在低层形成高温高湿区。当 850~500 hPa 的垂直温度梯度  $\geq 25$  °C 时,大气层结不稳定加强,暖切变顶部辐合区和地面辐合线(区)叠加产生上升运动,触发不稳定能量的释放,在湿舌(区)形成强降水。暴雨区主要位于干线南侧大约 150 km,低空急流左前侧 0~200 km,湿舌(区)与不稳定重叠区内的暖切变顶部辐合区或者气流汇合区。

### 5.4 暖干型

500 hPa 副热带高压控制,低空有西南急流或显著流线,700 hPa、850 hPa 为气流汇合区,地面伴有冷锋或者地面辐合线(区)。K 指数大值区在气流汇合区或暖切变顶部辐合区附近重叠,500 hPa 有温度槽或者 850 hPa 以下有温度脊配合,低空急流左前侧有湿舌(区)存在。副热带高压或暖性高压下沉增温,形成的干暖区下沉到地面时与低层暖湿气流叠加,使大气层结不稳定加强。由于低空急流发展加强,其急流轴附近形成高湿区,当湿区内有气流汇合区、暖切变顶部辐合区和地面辐合线(区)叠加,便会触发不稳定能量的释放,形成强降水。暴雨主要位于地面冷锋附

近,500 hPa 温度槽与 850 hPa 温度脊重叠区域附近,湿舌(区)与不稳定重叠区内的中低层气流汇合区对应地面辐合线(区)附近。

## 6 小结

(1)渭河流域中尺度暴雨发生在 4—9 月,其中 6—8 月出现的中尺度暴雨占全年总次数的 91.9%,8 月渭河流域出现中尺度暴雨的概率最大。

(2)渭河流域中尺度暴雨的日变化特点是夜间多于白天,17:00—02:00 为中尺度暴雨出现频率较高时段,而 12:00—15:00 为中尺度暴雨出现频率较低的时段,这与冰雹的日变化完全不同。

(3)渭河流域中尺度暴雨天气过程可以概括为 5 条移动路径,其中有 3 条路径都是自西(或者西北)向东(或者东南),这 3 类个例占整个中尺度暴雨天气个例数的 74.4%。

(4)通过对中尺度暴雨的影响系统、结构配置的归类和研究,将渭河流域中尺度暴雨分为 4 种类型,分别为:干侵入型、西南气流型、干锋生型和暖干型。其中以西南气流型最常见,占整个中尺度暴雨过程的 38.9%。

## 参考文献:

- [1] 陈联寿. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979: 8.
- [2] 武麦凤,王旭仙,孙健康,等. 2003 年渭河流域 5 次致洪暴雨过程的水汽场诊断分析[J]. 应用气象学报,2007,18(2):225-231.
- [3] 武麦凤,梁生俊,李春娥. 渭河流域三次暴雨过程水汽和上升运动的垂直结构比较[J]. 暴雨灾害,2010,29(3):245-250.
- [4] 侯建忠,张弘,杜继稳,等. 台风与高原东北侧冷锋暴雨的环境场及云图特征[J]. 气象科技,2006,34(1), 41-46.
- [5] 井喜,贺文彬,毕旭,等. 远距离台风影响陕北突发性暴雨成因分析[J]. 应用气象学报,2005,16(5): 655-662.
- [6] 刘瑞芳,牛乐田,郭大梅. 2007-08-08 渭河流域区域性大暴雨天气过程分析[J]. 陕西气象,2008(4): 29-31.
- [7] 武麦凤,吉庆,米洁. 长波调整背景下关中东东部强对流天气过程分析[J]. 干旱气象,2015,33(4): 644-650.
- [8] 王旭仙,武麦凤,许伟峰,等. 渭河流域一次对流性暴雨过程分析[J]. 暴雨灾害,2011,30(3):241-246.
- [9] 刘新伟,段海霞,赵庆云. 2010 年 7 月甘肃一次区域性暴雨分析[J]. 干旱气象,2011,29(4):472-477.
- [10] 王志超,于雷,黄鹤,等. 2010 年 8 月河北一次暴雨的综合诊断[J]. 干旱气象,2012,30(1): 81-87.
- [11] 陈忠明,黄福均,何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究[J]. 大气科学,2002,26(3): 352-360.
- [12] 周国兵,沈桐立,韩余. 台风对西南低涡影响的数值模拟与诊断个例分析[J]. 气象科技,2006,26(6):620-626.
- [13] 任余龙,杨文月,武学琴. 青藏高原东部边缘一次大暴雨发生机制研究[J]. 干旱气象,2010,28(3): 315-321.
- [14] 李祥林,牛乐田,尹盟毅. 咸阳市“8·14”与“8·8”两次大暴雨天气对比分析[J]. 陕西气象,2010(2):9-13.
- [15] 武麦凤,王桂梅,曹玲玲,等. 台风“洛克”远距离引发陕西暴雨过程的成因分析[J]. 高原气象,2014,33(5):1297-1305.
- [16] 武麦凤,吉庆,武维刚. 一次槽前“干”对流背景下阵风锋天气过程分析[J]. 高原气象,2017,36(3): 845-851.
- [17] 李明,高维英,赵强. 陕西 2 次相似天气系统下强降雨差异的成因诊断[J]. 干旱气象,2015,33(3): 458-467.
- [18] 刘引鸽,慕建利,葛永刚. 宝鸡渭北冰雹时空分布规律[J]. 陕西气象,2006(3):6-8.
- [19] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等. 陕西地区 1368-2013 年冰雹灾害时空分布特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(2):123-127.
- [20] 丁敏,黄春长. 陕西省渭北高原冰雹灾害对苹果生产的影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(2):106-109.