

高宇星,刘峰,刘瑞芳,等.基于稠密观测资料的近10年西安地区暴雨特征[J].陕西气象,2024(1):29-36.

文章编号:1006-4354(2024)01-0029-08

基于稠密观测资料的近10年西安地区暴雨特征

高宇星^{1,2},刘峰¹,刘瑞芳¹,王楠³,黄少妮^{4,5},张伟⁶

(1. 西安市气象台,西安 710016;2. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院,西安 710048;

3. 西安地球环境创新研究院,西安 710061;4. 陕西省气象台,西安 710014;

5. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

6. 蓝田县气象局,西安 710599)

摘要:利用2013—2022年西安市国家气象站和区域气象站观测资料及MICAPS资料,采用统计学方法、天气学分析法对近10 a西安暴雨特征进行分析。结果表明:(1)10 a中,2021年暴雨日最多,为24 d,其他年份在6~16 d之间;暴雨集中出现在7月中旬到8月中旬,8月上旬暴雨日最多,累计达14 d;强降水频次日变化分布呈双峰型,主要集中在12时前后和00时前后;强降水极值雨强频次分布具有三峰型特征,第一峰区在08—12时,第二峰区位于01时,第三峰区位于16时,易发时段为下午到傍晚。(2)暴雨日呈北少南多的分布特征,南部山区为9~23 d,城区及北部区县暴雨日为3~7 d;暴雨极值大值区主要位于周至、长安、蓝田、临潼;4月暴雨日最少,主要集中在周至和蓝田,5月暴雨日增多,主要在南部区县,6月暴雨主要发生在城区和南部区县,7月和8月暴雨范围逐渐东西向扩大,9月逐渐收缩。(3)影响西安区域性暴雨的环流形势分为副高-西风槽型、西风槽型、低涡型、西北气流型等4种概念模型。(4)西安稳定性暴雨,雨强起伏变化不大,一般CAPE值 <100 J/kg,K指数 <36 °C,SI指数 >0 °C,CIN值 >50 J/kg,0 °C层高度在4.8~5.1 km;对流性暴雨,小时雨强大,一般CAPE值 >800 J/kg,K指数 >36 °C以上;SI指数 <0 °C,CIN值 <50 J/kg,0 °C层高度5.1~5.4 km。CAPE值越大、K指数越大,SI指数越小,越有利于对流系统发展。

关键词:西安暴雨;特征分析;概念模型;对流参数

中图分类号:P426.62

文献标识码:A

暴雨是西安地区易出现的灾害性天气,由于暴雨过程发生发展的机理相当复杂,预报预警难度较大,因此,暴雨始终是气象工作者研究的重点^[1]。大尺度形势场提供暴雨发生的有利环境条件,中低层天气系统的发生发展是产生暴雨的首要条件,副热带高压(以下简称副高)的位置适中,低空急流是重要的水汽和能量输送带^[2],高低层天气系统的适当配置是产生暴雨的天气动力背景^[3]。西安地区暴雨主要在西风带系统、副高、高

空冷涡、低空急流等相互作用下发生^[4]。暴雨的水汽来源主要有两条路径:一条是西南暖湿气流,另一条是东风急流^[5]。当有冷空气配合时,冷暖气流交汇,就会产生暴雨。地形也是影响暴雨的重要因子,西安位于关中中部,周边地貌地形复杂,由东向西为喇叭口地形,并位于青藏高原东侧下风坡^[6],加之受关中城市群下垫面等因素^[7]影响,易出现强降水天气。近年来,气象工作者对关中地区暴雨也进行了大量研究,发现关中暴雨频

收稿日期:2022-12-16

作者简介:高宇星(1992—),女,陕西榆林人,硕士,工程师,主要从事短期天气预报及研究。

基金项目:西安市科学技术协会青年人才托举计划项目(959202313017);陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-15)

次多、雨强大、局地性明显,具有不同于其他地区的环流形势及中尺度特征。近地层显著东南风、不稳定扰动增大和地面切变线是暴雨的有利动力、触发条件^[8-9]。远距离台风外围的偏东气流携带大量热带系统的暖湿气流,当低层水汽非常丰富,水汽辐合很强时,即使缺乏强上升运动,弱对流仍然可以带来短时特大暴雨天气^[10]。秦岭的阻挡作用使得冷锋过境转变风向,并与强降水正反馈形成超低空急流。地形影响对降水产生增幅作用,并为降水区带来水汽输送^[11]。“北槽南涡”形势是西南涡长时间维持的原因,西南涡是造成大暴雨天气过程的重要影响系统^[12]。2005—2018年陕西极值雨强呈振荡减小趋势,短时强降水主要发生在午后到夜间,日变化呈单峰分布,关中平原地区短时强降水日数少,但极值最大可达101.5 mm/h^[13]。为了做好西安的暴雨预报,有必要研究当地暴雨气候特征及影响系统,探索暴雨生成机制,提炼暴雨中小尺度特征。本文对近10 a西安地区暴雨的时空分布特征及出现暴雨天气的环境条件和影响系统进行统计分析,总结暴雨发生发展的有利环境条件和环流背景,探究中尺度系统的规律,建立西安区域性暴雨概念模型。

1 资料与方法

研究区域为西安市,降水实况资料为2013—2022年西安市国家基本气象站、区域气象站(剔除建站较晚和地址有变更的站后,选取10 a记录均完整的69站)24 h(08—08时)降雨量资料,以及MICAPS常规地面观测、高空探测资料。定义:西安区域内只要有1站24 h(08—08时)降水量 ≥ 50 mm,则西安暴雨日计1 d;24 h降水量 ≥ 100 mm,西安大暴雨日计1 d。区域内某站小时雨强最大值 ≥ 20 mm,则该站强降水频次计1次;出现最大小时雨强极值,则该站强降水极值雨强频次计1次,某小时某区域内的强降水频次/强降水极值雨强频次为该小时该区域各站强降水频次/强降水极值雨强频次的总和(单位为站次)。西安境内在 ≥ 10 个自动气象站24 h(08—08时)降水量达到暴雨为区域性暴雨。过程主要时段以区域内最早和最晚出现雨强 ≥ 10 mm/h时段计算。根据区域性暴雨特征,定义最大小时雨强 \geq

40 mm/h,主要降水时段 ≤ 6 h为对流性暴雨;而最大小时雨强 < 40 mm/h,主要降水时段超过6 h为稳定性暴雨。

2 暴雨时空分布特征

西安地区的暴雨时段集中,大都发生在夏季,中小尺度对流系统活跃。利用西安各站逐日降水量,分析西安市暴雨的时空分布特征,发现西安市暴雨过程雨量落区不稳定,区域性强降水较多,具有突发性强、局地性强、雨强大的特点。

2013—2022年西安市暴雨日共124 d,其中大暴雨19 d。暴雨日最早出现在4月1日(2015年,周至富仁),最晚在10月21日(2014年,临潼零口)。从图1可以看出:2021年暴雨日数最多,为24 d,占总数的19.4%,与2021年连阴雨天气较多有关;其次是2019年,为16 d,占总数的12.9%;2013年最少为6 d,占4.8%。除2021年暴雨日明显偏多外,其他年份在6~16 d之间变化。2021年大暴雨日异常偏多,为9 d,占总数的47.4%;2014年、2017年和2022年未出现大暴雨,其他年份在1~3 d之间。

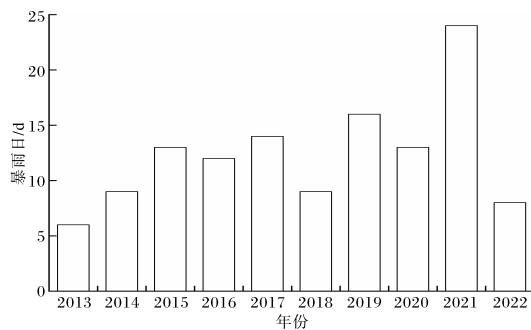


图1 2013—2022年西安市暴雨日的年际变化

由近10 a全市暴雨极值的空间分布图(图2a)可以看出,暴雨极值的大值区主要位于周至、长安、蓝田、临潼等区县,而北部区县极值雨量相对偏小。暴雨的分布与地形密切相关,关中地区喇叭口地形使低层气流进入喇叭口后被迫辐合抬升,强降水易在喇叭口收缩区形成,而秦岭北麓山区正好位于喇叭口地形的收缩区。西安南部区县位于秦岭北麓,辖区地形坡度大,峪口与中小河流众多,暴雨易出现。从暴雨日的空间分布图(图2b)来看,西安暴雨日在南部山区多,市区及北部

少,呈北少南多分布。南部区县(长安、周至、鄠邑、蓝田)暴雨日较多,在9~23 d之间,其中周至县西骆峪水库站、鄠邑区朱雀森林公园站、蓝田县孟村站均为23 d。城区及北部区县暴雨日相对偏少,为3~7 d。说明秦岭北麓山区的地形对暴雨的发生有一定的促进作用。从西安暴雨的空间分布图来看,南部区县测站较少,主要原因是一部

分观测站在2015年后才建立,为保证数据的一致性,研究中已剔除,这些测站大部分位于南部区县,特别是周至、鄠邑,在前期统计中发现这些站暴雨日数偏多,且易出现暴雨极值。虽然图2西南部站点稀疏,但从现有资料来看,暴雨分布特征仍是秦岭北麓山区的暴雨日数及暴雨极值明显多于北部区县。

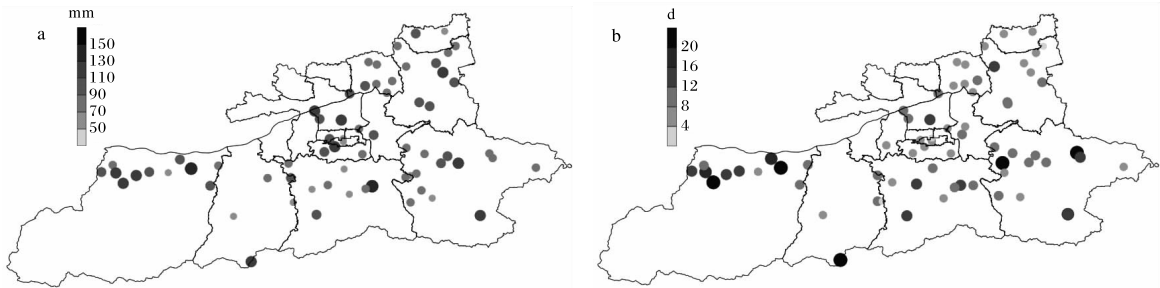


图2 2013—2022年西安暴雨极值(a)和暴雨日(b)空间分布图(审图号为GS(2020)4619号)

2013—2022年暴雨的月旬分布(图3)显示,暴雨天气主要出现在夏季(6—8月),尤其7—8月是暴雨多发期,即前汛期后期和盛夏汛期。其分布特征与金丽娜^[14]整理的西安市1971—2013年的统计特征基本相符,即暴雨集中出现在前汛期、盛夏汛期及秋汛期。其中8月上旬暴雨日最多,累计达14 d,占总数的11.3%;8月中旬次之,为12 d,7月中旬为10 d;4、5月各旬暴雨日均在3 d以下。副高在7月上旬西伸北进,8月下旬东退,7、8月作为西安主汛期,降雨月分布特征与副高的“七上八下”气候活动相一致。西安的暴雨期与副高的南北进退有密切关系,雨带随之南北移动。其间副高北跳到30°N以北并在此南北摆动,其外围带来的高温高湿水汽被输送到关中平原,导致当地能量积聚快,位于副高西北侧区域的西安易发生暴雨天气。从暴雨日空间分布的月变化来看(图略),4月暴雨日最少,主要集中在周至和蓝田,5月暴雨日增多,范围主要在南部区县,6月暴雨主要发生在城区和南部区县,7月和8月暴雨范围逐渐东西向扩大,9月逐渐收缩。可见,暴雨分布呈现4月起从南部区县东西部两侧开始发展,5月主要覆盖南部4个区县,6月开始向城区、北部区县扩大,7、8月扩展至最大,9月收缩的特征。

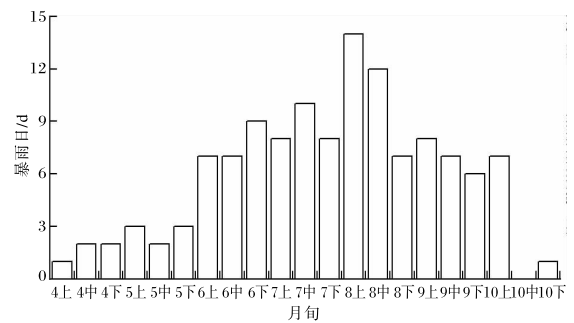


图3 2013—2022年西安市暴雨月旬变化

图4为2013—2022年强降水频次和最大小时雨强极值频次的日变化图。从图4可看出,近10 a西安强降水频次分布呈双峰型,第一峰区集中在12时前后,上午逐渐增多,到12时达到峰值,平均达到66站次,而后呈逐渐减少趋势。可见,午后是西安短时强降水的多发时段。主要原因是,受太阳辐射影响,午后升温快下垫面温度较高,热力条件好,不稳定能量增加,易激发强对流。第二峰区是00时前后,凌晨易出现强降水,表现为夜雨型。西安不同时刻均可发生短时强降水,强降水极值雨强频次分布具有三峰型特征:第一峰区在08—12时,虽然上午时段强降水频次较少,但降水极值雨强频次较多,说明短时强降水具有突发性;第二峰区在01时,受低层急流日变化的影响,低空急流常在凌晨有所加强,西安位于青

藏高原东北侧,夜间青藏高原降温快,冷空气下沉并与西北地区东部的暖湿上升气流交汇形成强降水^[15];第三峰区位于16时,主要由于午后局地热对流旺盛,易出现极端性短时强降水。

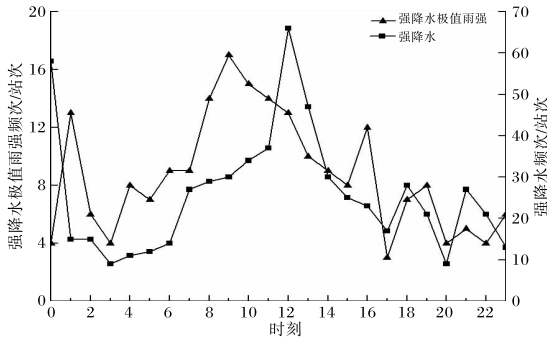


图4 2013—2022年西安强降水频次和极值雨强频次日变化

3 区域性暴雨的概念模型

造成西安暴雨天气的主要影响系统有冷锋、低空急流、低空切变线、西风槽、副高、高空冷涡等,暴雨发生发展的典型环流形势特征是高低空有急流相互配合,低层暖湿气流辐合,高层干冷气流下沉,从而形成上干冷下温暖的不稳定层结。利用2013—2022年MICAPS系统输出的地面和高空场资料,结合各类暴雨概念模型定义,挑选出符合条件的个例。为避免影响各类暴雨的统计,筛除类型复杂的交叉个例。最后挑选出4种暴雨概念模型的典型个例18例(表1),其中副高-西风槽型7例,西风槽型5例,低涡型3例,西北气

表1 西安区域性暴雨概念模型的个例

概念模型	个例日期	概念模型	个例日期
副高-西风槽型 (7例)	2016-07-24	西风槽型 (5例)	2020-06-16
	2019-09-14		2021-09-18
	2021-08-12		2015-08-02—03
	2021-08-21		2019-08-09
	2021-08-31		2021-08-03
	2021-09-24		
	2022-07-15		
低涡型 (3例)	2013-05-25	西北气流型	2014-09-08
	2018-08-21	流型	2017-09-26
	2021-07-02	(3例)	2022-10-03

流型3例。分析西安市暴雨时空分布特征及环流形势,对所有个例的影响系统进行系统配置并归类分型,凝练出有预报意义的暴雨概念模型,以典型个例为例给出概念模型图(图5)。

(1)副高-西风槽型。副高-西风槽型是西安市出现暴雨最主要的天气类型,累计7例,在盛夏出现的频率较高。200 hPa上西风急流,存在大风速区,强降水区位于风速带入口区右侧。500 hPa上,副高在关中—陕南地区上下摆动,当副高强盛时西伸北抬控制关中地区,河套地区西侧有低槽,副高外围的暖湿气流与西风槽带来的冷空气交汇,造成强降水天气。副高脊线位置的南北摆动决定暴雨的落区,当副高脊线位于 $25^{\circ}\text{N}\sim 28^{\circ}\text{N}$ 时,西安易出现暴雨天气。

(2)西风槽型。西风槽型暴雨累计5例,其特点是副高偏弱、位置偏南。200 hPa上南亚高压强盛,西风急流有利于低层辐合上升运动。500 hPa上贝加尔湖有冷涡,东北冷涡稳定维持,河套地区有长波槽,高原上也有低槽东移,引导地面冷空气东移。700 hPa、850 hPa上西南气流输送水汽,冷暖气流交汇处易产生降水,暴雨出现在700 hPa和850 hPa的切变线附近。

(3)低涡型。低涡是造成西安暴雨的重要影响系统,暴雨多发生在低涡底的前部,低涡型仅出现3例。500 hPa上欧亚大陆呈两槽一脊型,高空槽东移进入河套地区,引导冷空气南下,副高西伸北抬到关中地区并维持,由于副高的阻挡和西南暖湿气流的引导,形成“北槽南涡”的形势。这是夏季西南涡影响关中、陕南地区的一种典型环流形势,有利于出现暴雨天气。

(4)西北气流型。西北气流型易出现在秋季(9—10月),累计3例。受西北气流控制,河套地区处于弱高压脊中,中高纬呈两槽一脊型。在中低纬度,副高呈带状分布,西安处于长波脊底部的弱西北风中。在这种环流影响下,暴雨落区随机性较大。700 hPa、850 hPa上有偏南气流和偏东风回流提供水汽。部分西北气流型暴雨个例的地面图上,降雨区存在干线,将干冷空气带入暖湿空气中,同时干冷空气侵入有利辐合上升运动,加

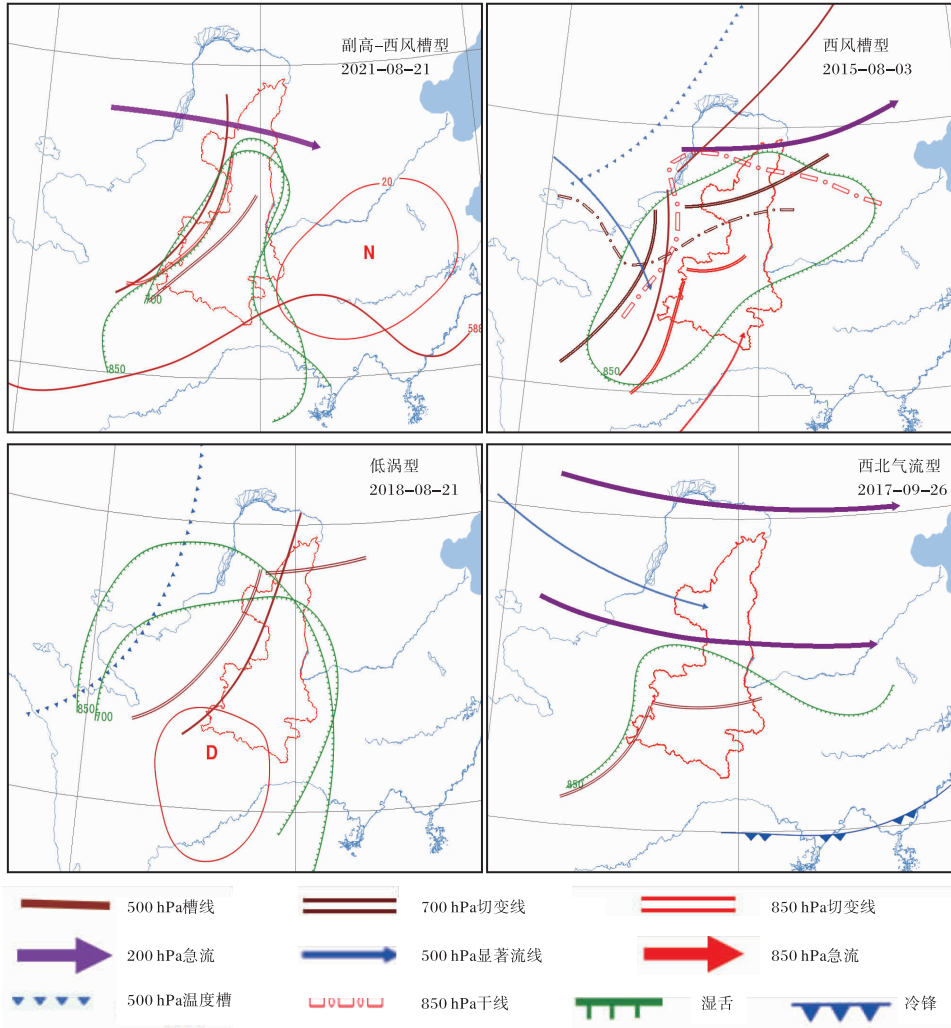


图5 西安区域性暴雨概念模型(审图号为GS(2019)3082号)

强垂直上升运动。辐合线和干线是触发对流的不利条件,同时较深厚的湿层和低空急流提供丰富的水汽。

4 暴雨的中尺度特征

4.1 区域性暴雨个例分类

前文对于西安区域性暴雨定义,参考了孙继松^[16]、陈豫英^[17]、高维英^[18]、肖贻青^[19]等对暴雨过程的选取标准,同时结合西安降雨及地形特征,共筛选出18次区域性暴雨个例(2015-08-02—03连续2d出现区域性暴雨,记为1次暴雨个例),划分出9次对流性暴雨和9次稳定性暴雨。从表2可以看出,西安区域性暴雨主要集中在南部区县,夜雨特征显著。低空偏(东)南急流夜间增强,并配合秦岭北麓喇叭口地形,在山前触发或增强了暴雨中小尺度系统,造成山前降水增幅明

显^[18]。其中,稳定性暴雨过程中各测站最大小时雨强不超过40 mm/h,具有历时长、范围大、雨强小、降水连续等特点。对流性暴雨过程均发生在7、8月,主要降水时段一般不超过6 h,对流性暴雨过程伴有最大小时雨强 ≥ 40 mm/h短时强降水,具有降水持续时间短、范围小、雨强大的特点。西北气流型暴雨个例均出现在稳定性暴雨中,而对流性暴雨中副高-西风槽型和西风槽型偏多。

4.2 暴雨的物理量指标

通过整理西安泾河站探空图资料,研究对流有效位能(CAPE)、K指数、SI指数、对流抑制能量(CIN)以及0℃层高度等物理量与降水强度的对应关系,以及不同类型暴雨中物理量变化特征(表3,其中2014年9月8日这次过程探空资料缺失,不作统计)。一般物理量可以体现水汽、上

表 2 2013—2022 年西安地区区域暴雨个例

个例类型	出现时间(最强时段)	暴雨频次/站次	24 h 最大雨量/mm	最大雨强/(mm/h)
稳定性暴雨	2013-05-25(25 日 18 时—26 日 01 时)	31	127.2	26.2
	2014-09-08(8 日 18 时—9 日 01 时)	18	78.9	13.3
	2017-09-26(26 日 10 时—27 日 06 时)	10	83.6	9.2
	2019-09-14(14 日 08 时—15 日 04 时)	51	134.6	11.3
	2020-06-16(16 日 09—22 时)	48	99.7	13.1
	2021-08-31(31 日 13 时—9 月 1 日 05 时)	28	100.8	10.6
	2021-09-18(18 日 08—23 时)	39	119.2	14.6
	2021-09-24(24 日 18 时—25 日 06 时)	21	115.3	22.2
对流性暴雨	2022-10-03(3 日 08 时—4 日 00 时)	15	66.7	25.1
	2015-08-02—03(3 日 16—18 时)	15	148.7	86.3
	2016-07-24(24 日 20—21 时)	12	123.0	66.6
	2018-08-21(21 日 22 时—22 日 03 时)	15	87.5	51.5
	2019-08-08(9 日 05—07 时)	10	98.4	59.9
	2021-07-02(2 日 13—16 时)	17	112.4	43.9
	2021-08-03(3 日 23 时—4 日 01 时)	10	74.3	67.9
	2021-08-12(12 日 14—17 时)	13	119.2	56.4
2021-08-21(21 日 23 时—22 日 04 时)	26	110.2	44.7	
2022-07-15(15 日 23 时—16 日 02 时)	18	92.6	53.0	

升运动以及不稳定能量,0℃层是大气探测的重要特性层,可以反映高空冷暖气团的环流变化,且较少受到地面摩擦层的影响。一般强对流天气中,暴雨回波顶高远高于0℃层高度。

稳定性暴雨过程中,雨强起伏变化不大,过程前和过程中对流参数变化相对比对流性暴雨偏小,一般 CAPE 值<100 J/kg,K 指数<36℃,SI 指数>0℃,CIN 值<50 J/kg,0℃层高度在 4.8~5.1 km。对流性暴雨过程中,由于小时雨

强较大,一般来说,CAPE 值>800 J/kg,K 指数>36℃以上;SI 指数<0℃,CIN 值<50 J/kg,0℃层高度 5.1~5.4 km。副高西风槽型、西风槽型以及低涡型相较于西北气流型,CAPE 和 K 指数的数值更大,且过程前和过程中各物理量变幅更大。主要由于西北气流型多出现在秋季,为稳定性暴雨,而副高-西风槽型和西风槽型多出现在主汛期 7、8 月,对流性暴雨偏多,因此物理量变化更明显。

表 3 2013—2022 年西安市区域性暴雨个例对流参数

个例类型	发生时间	降水前				降水时				0℃层 高度/km
		CAPE 值/ (J/kg)	K 指数 /℃	SI 指数 /℃	CIN 值/ (J/kg)	CAPE 值/ (J/kg)	K 指数 /℃	SI 指数 /℃	CIN 值/ (J/kg)	
稳定性 暴雨	2013-05-25	120.1	32.1	2.9	40.0	1.1	40.4	-2.7	0.9	4.4~4.7
	2017-09-26	0.0	32.4	3.5	0.0	0.0	27.5	7.3	0.0	4.8~5.1
	2019-09-14	0.0	21.4	11.8	0.0	0.0	17.9	14.4	0.0	5.1~5.2
	2020-06-16	3.9	32.1	4.9	0.2	21.4	30.0	6.5	0.1	5.1~5.4

续表 3

个例类型	发生时间	降水前				降水时				0℃层 高度/km
		CAPE 值/ (J/kg)	K 指数 /℃	SI 指数 /℃	CIN 值/ (J/kg)	CAPE 值/ (J/kg)	K 指数 /℃	SI 指数 /℃	CIN 值/ (J/kg)	
稳定性 暴雨	2021-08-31	7.7	33.3	3.6	0.0	7.5	32.9	4.1	0.2	5.1~5.3
	2021-09-18	1.7	33.0	3.4	0.4	4.9	29.4	6.4	0.4	4.7~5.0
	2021-09-24	1.3	35.9	1.5	1.3	0.0	33.6	3.0	0.0	4.8~5.0
	2022-10-03	19.5	35.3	1.6	3.4	0.7	25.4	9.3	95.9	4.7~4.8
	平均值	19.3	31.9	4.2	5.7	4.5	29.6	5.4	12.2	4.8~5.1
对流性 暴雨	2015-08-02—03	807.0	43.0	-2.8	0.0	0.0	40.0	-1.7	0.0	5.1~5.3
	2016-07-24	1 888.8	36.0	-0.4	107.4	1 432.7	44.0	-3.4	246.5	5.5~5.7
	2018-08-21	117.0	41.9	-3.2	254.8	434.2	39.4	0.4	161.7	5.0~5.4
	2019-08-08	1 003.8	33.0	1.9	34.0	0.0	38.6	-0.6	0.0	5.2~5.8
	2021-07-02	197.5	38.9	-1.9	61.6	14.4	35.2	2.1	89.1	4.6~5.0
	2021-08-03	2 504.5	40.4	-1.2	68.6	769.1	33.3	3.8	0.0	4.8~5.1
	2021-08-12	66.4	35.3	0.8	77.2	0.7	32.6	3.8	34.5	4.7~5.1
	2021-08-21	1 429.7	44.3	-3.0	86.5	2.9	33.1	3.1	66.5	5.4~5.5
	2022-07-15	2 135.4	41.4	-2.4	5.1	20.2	35.0	3.3	0.0	4.9~5.8
平均值	1 127.8	39.4	-1.4	77.2	297.1	36.8	1.2	66.5	5.0~5.4	

5 结论

利用 2013—2022 年西安市国家气象站和区域气象站观测资料及 MICAPS 资料,分析西安市暴雨时空分布特征及环流形势,筛选 18 次区域性暴雨个例建立概念模型,提炼西安暴雨的短临预警定量指标,得到以下主要结论。

(1)近 10 a,除 2021 年暴雨日最多为 24 d 外,其他年份在 6~16 d 之间。7—8 月是暴雨多发期,集中出现在 7 月中旬到 8 月中旬,即前汛期后期和盛夏汛期。其中 8 月上旬暴雨日最多,累计达 14 d,占总数的 11.3%。西安强降水频次分布呈双峰型,第一峰区集中在 12 时,上午逐渐增多,到 12 时达到峰值,而后呈逐渐减少趋势;第二峰区位于 00 时前后,表现为夜雨型。西安强降水极值雨强频次分布具有三峰型特征,不同时次均可发生短时强降水。第一峰区在 08—12 时,第二峰区在 01 时,第三峰区位于 16 时,易发时段为下午到傍晚。

(2)降雨落区与秦岭山脉和关中地区喇叭口地形有关,区域性强降水较多。暴雨日空间分布

呈现北少南多的特征,南部山区在 9~23 d 之间,城区及北部区县暴雨日相对偏少,为 3~7 d。暴雨极值大值区主要位于周至、长安、蓝田、临潼。从暴雨日空间分布的月变化来看,4 月暴雨日最少,主要集中在周至和蓝田,5 月暴雨日增多,范围主要在南部区县,6 月暴雨主要发生在城区和南部区县,7 月和 8 月暴雨范围逐渐东西向扩大,9 月逐渐收缩。从西安暴雨的空间分布图来看,南部区县测站较少,主要原因是一部分观测站在 2015 年后才建立,为保证数据的一致性,研究中已剔除,在前期统计中发现这些站暴雨日数偏多,且易出现暴雨极值。

(3)西安地区暴雨主要在西风带系统、副高、高空冷涡、低空急流等相互作用下发生,通过对影响西安地区的环流形势进行系统配置并归类分型,将区域性暴雨分为副高-西风槽型、西风槽型、低涡型、西北气流型这 4 种概念模型,其中副高-西风槽型 7 例,西风槽型 5 例,低涡型 3 例,西北气流型 3 例。

(4)西安稳定性暴雨,雨强起伏变化不大,一

般 CAPE 值 $< 100 \text{ J/kg}$, K 指数 $< 36 \text{ }^\circ\text{C}$, SI 指数 $> 0 \text{ }^\circ\text{C}$, CIN 值 $> 50 \text{ J/kg}$, $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度在 $4.8 \sim 5.1 \text{ km}$; 对流性暴雨, 小时雨强大, 一般 CAPE 值 $> 800 \text{ J/kg}$, K 指数 $> 36 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, SI 指数 $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$, CIN 值 $< 50 \text{ J/kg}$, $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 层高度 $5.1 \sim 5.4 \text{ km}$ 。CAPE 值越大、K 指数越大, SI 指数越小, 越有利于对流系统发展。西北气流型暴雨多出现在秋季, 为稳定性暴雨; 而副高-西风槽型和西风槽型多出现在主汛期 7、8 月, 对流性暴雨偏多, 因此物理量变化更明显, 过程前和过程中各物理量变幅更大。

参考文献:

- [1] 慕建利. 陕西关中强暴雨中尺度对流系统研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2009.
- [2] 张弘, 梁生俊, 侯建忠. 西安市两次突发性暴雨成因分析[J]. 气象, 2006, 32(5): 80-86.
- [3] 丁一汇. 高等气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [4] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 29-33.
- [5] 刘勇, 薛春芳. “6·29”西安突发性特大短时暴雨过程分析[J]. 陕西气象, 2007(1): 1-4.
- [6] 杜继稳. 降雨型地质灾害预报预警: 以黄土高原和秦巴山区为例[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 8-17.
- [7] 慕建利, 李泽椿, 谌芸, 等. 一次陕西关中强暴雨中尺度系统特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 148-161.
- [8] 张雅斌, 马晓华, 薛谌彬, 等. “0812”关中盛夏突发性暴雨中尺度特征分析[J]. 热带气象学报, 2017, 33(2): 187-200.
- [9] 毕旭, 王丽, 张雅斌, 等. 陕西秦岭北麓致灾短时暴雨特征及预警技术[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 124-129.
- [10] 刘勇, 王川. 一次弱对流引发局地特大暴雨天气的诊断分析[J]. 气象, 2005, 31(8): 14-18.
- [11] 王楠, 赵强, 井宇, 等. 秦岭北麓一次冷锋触发的短时强降水成因分析[J]. 高原气象, 2018, 37(5): 1277-1288.
- [12] 李明, 高维英, 侯建忠, 等. 一次西南涡东北移对川陕大暴雨影响的分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 133-144.
- [13] 李萍云, 赵强, 王楠, 等. 2005—2018 年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象, 2019(5): 34-39.
- [14] 金丽娜, 张雅斌, 赵荣, 等. 西安市夏季及近 10 年极端强降水时空分布特征[C]//第 33 届中国气象学会年会论文集: SI 灾害天气监测、分析与预报. 北京: 中国气象学会, 2016.
- [15] 蔡新玲, 叶殿秀, 孙娴, 等. 1961—2011 年陕西省汛期短时降水变化特征[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1618-1626.
- [16] 孙继松, 雷蕾, 于波, 等. 近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征[J]. 气象学报, 2015(4): 609-623.
- [17] 陈豫英, 苏洋, 杨银, 等. 贺兰山东麓极端暴雨的中尺度特征[J]. 高原气象, 2021, 40(1): 47-60.
- [18] 高维英. 弱天气系统下陕西暖区暴雨分型及其环境场特征[J]. 陕西气象, 2022(6): 1-6.
- [19] 肖贻青, 郭莉, 汪媛媛, 等. 秦巴山区近 30 年暴雨和短时强降水时空特征分析[J]. 陕西气象, 2023(3): 31-36.