

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.

文章编号: 1006-4354(2022)06-0001-06

# 弱天气系统下陕西暖区暴雨分型及其环境场特征

高维英<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省气象科学研究所, 西安 710016;

2. 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)

**摘要:** 利用 2010—2020 年陕西省国家基本气象站、区域站 24 h(20—20 时)降雨量资料, 常规地面观测、高空探测资料, 统计并甄别出陕西省弱天气系统影响下的暖区暴雨过程(下称暖区暴雨) 14 次, 按照天气形势将其分为副高冷空气渗透型、副高远距离冷锋型、副高暖脊型。利用国家基本站、区域站逐小时降雨量和探空实况观测资料, 分析了暖区暴雨的时空分布特征, 暖区暴雨、一般暴雨、平均气候值的物理量及其阈值的比较。结果表明: (1) 暖区暴雨的降雨量高值中心基本呈两高型(副高冷空气渗透型)或一高型(副高暖脊型), 三个高值中心分别为沿秦岭分布, 榆林中部的长城沿线和黄河沿岸, 陕南的汉水谷地和米仓山、大巴山一线; 副高远距离冷锋型分布较为平均。(2) 暖区暴雨呈现明显的中尺度特征, 发生短时强降水的站次频率高达 41%; 3 类暖区暴雨中的短时强降水具有明显的日变化特征, 存在两个明显的降水时段, 午后 15 时开始增多, 17—19 时达到高峰, 入夜 21 时又开始增多, 00—04 时达到高峰, 上午时段短时强降水出现的次数极少。(3) 与一般暴雨和气候平均值相比, 暖区暴雨发生在风垂直切变较小的弱垂直风切变中, 0~6 km 垂直风切变的平均值为  $2.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ; 0 °C 层高度较高, 平均值为 4.7 km; 具有异常的高能、高湿条件, K 指数平均值达 39.7 °C, CAPE 的平均值为 1 334 J/kg, 整层水汽含量平均值为 3 383 g/kg, 850 hPa 的温度露点差平均值为 2.6 °C, 暖区暴雨的 850 hPa 与 500 hPa 的温度差平均值为 24.9 °C。

**关键词:** 陕西; 弱天气系统; 暖区暴雨分型; 时空分布; 环境场条件

**中图分类号:** P458.121.1

**文献标识码:** A

暖区暴雨的概念最早是由黄土松<sup>[1]</sup>提出, 是指华南前汛期在地面锋面南侧暖区里, 一般距离地面锋面系统 200~300 km, 且没有受到冷空气或变性冷高压脊控制时产生的暴雨, 具有强度大, 范围小, 对流性强, 降水量相对集中的特点<sup>[2]</sup>。暴雨的产生要具备一定的条件, 暖区暴雨也是如此。整层高湿的环境和深厚的对流不稳定层结可以降低暖区暴雨对抬升条件的要求<sup>[3]</sup>。暖区暴雨是华南前汛期降水的一个重要特色。在华南暴雨的分型方面进行了大量的研究, 切变线型、低涡型、南风型和回流型是产生华南暖区暴雨的主要天气形势<sup>[4]</sup>; 华南暖区暴雨有边界层辐合线型、强西南急

流型、偏南风风速辐合型等 3 种天气系统配置及触发因子<sup>[5]</sup>。在华南暖区暴雨的历史统计研究上, 丁治英等<sup>[6]</sup>、陈翔翔等<sup>[7]</sup>分析了华南暖区暴雨的气候背景, 得出西风槽、西太平洋副热带高压和南亚高压脊线以及西南季风对暖区暴雨的影响。在形成暖区暴雨的天气背景和环境条件方面, 沈杭锋等<sup>[8]</sup>认为华南暖区暴雨存在明显的中尺度铅直运动和波动结构, 上升运动主要发生在暖湿气流中, 低层没有明显的冷空气入侵, 主要天气系统为中低层西南风急流和高层西风急流<sup>[9]</sup>。

近年来, 华北、长江流域、西南等地所出现的类似于华南暖区暴雨的强对流降水过程引起了广

收稿日期: 2022-02-17

作者简介: 高维英(1972—), 女, 陕西西安人, 硕士, 从事天气预报预警技术研究及气象期刊论文编审工作。

基金项目: 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(2021G-5)

大气象工作者的高度关注。2012年北京“7·21”极端暴雨给人民生命和财产安全造成了巨大损失,分析发现:此次极端降水分为暖区降水和锋面降水,预报员对暖区降水认识不足<sup>[10]</sup>。参照华南暖区暴雨的定义和已有的研究成果,对我国其他地区出现的暖区暴雨的研究开始增多。陈玥等<sup>[11]</sup>、汪玲瑶等<sup>[12]</sup>分别对长江中下游地区和江南地区暖区暴雨按天气形势进行了分型统计,并给出了不同类型暖区暴雨的主要特征和系统配置。肖递详等<sup>[13]</sup>进行了2012—2018年四川盆地在弱天气系统影响下的突发性暖区暴雨分型,并统计了暴雨的时空分布特征和相关物理量阈值。目前,关于北方地区的暖区暴雨研究较少,针对西北地区暖区暴雨的研究更少。陕西地处青藏高原东北侧,受青藏高原大地形、秦巴山区及黄土高原等地形的影响,该地气候和天气异常复杂,夏季水汽和能量容易聚集,常处于高能高湿的环境条件,因此陕西多暖区暴雨发生,暖区暴雨的研究非常必要,尤其是弱天气形势背景下的暖区暴雨更是值得研究。从以往研究来看,陕西暖区暴雨的研究甚少,仅为极少数天气个例<sup>[14-18]</sup>研究,近两年陕西的天气预报专家针对黄土高原地区高致灾性暖区暴雨的机制和预报方法进行了研究,从研究的时间长度和地域范围来看,仍远远不够,因此有必要对陕西境内出现的暖区暴雨个例进行长时间的统计和分析,提升预报人员对暖区暴雨更多、更全面的认识和理解,以期为实际预报提供有益的参考。

## 1 所用资料与弱天气系统下陕西暖区暴雨的定义

本文所用资料为2010—2020年陕西省国家基本气象站、区域站24 h(20—20时)降雨量及逐时降雨量资料,常规地面观测、高空探测资料。

根据黄士松<sup>[1]</sup>对华南暖区暴雨的定义,并结合弱天气系统影响的背景条件,本文确定弱天气系统下陕西暖区暴雨过程的统计标准:(1)陕西境内在相邻区域内 $\geq 3$ 站20:00—20:00(北京时,下同)降雨量达到50 mm以上。(2)地面为热低压,且其北侧、西北侧或东北侧无冷锋或与冷锋距离300 km以上。(3)500 hPa和700 hPa无明显低槽(涡)或切变线。

## 2 暖区暴雨分型及其概念模型

按照上述定义对2010—2020年陕西省境内发生的暴雨过程逐一进行甄别,共选出14次弱天气系统下的暖区暴雨个例(下简称暖区暴雨)。从14次暖区暴雨发生月份来看,所有的暖区暴雨过程均发生在7—9月,其中7月8次,8月5次,9月1次,远低于四川盆地突发性暴雨的发生频次<sup>[13]</sup>。根据14次弱天气系统下暖区暴雨的基本天气形势特征,可将其分为三类(图1)。

(1)副高冷空气渗透型。500 hPa天气图上副热带高压控制黄河以南地区,陕西位于副高外围西南暖湿气流中,700 hPa上陕西境内仍盛行西南气流;850 hPa降雨区上空有明显切变;地面上,陕西基本受热低压控制,其北部或东部无明显冷锋,但有弱的冷空气渗透进入热低压中。14次弱天气系统下的暖区暴雨过程,有5次(2012年7月26日、2018年7月19日、2018年7月29日、2018年8月7日、2020年8月3日)属于此类型,占总数的37%。

(2)副高远距离冷锋型。500 hPa上暴雨落区位于副高外围西南或东南暖湿气流中,700 hPa上陕西境内仍盛行西南或偏南气流;850 hPa暴雨区上空有明显切变或有明显辐合区;地面上,陕西基本受热低压控制,暴雨区北部或东北部有冷锋,距离暴雨区较远( $\geq 300$  km),且冷锋移速缓慢,暴雨落区基本位于热低压控制的暖区中。属于该类型的暖区暴雨有6次(2013年7月25日、2013年7月26日、2016年8月12日、2016年8月19日、2017年7月23日、2018年8月1日),占总数的43%。

(3)副高弱脊型。500 hPa上副热带高压控制黄河以南地区,四川盆地及其以南地区均处于副高外围西南气流中,新疆以东至河套为弱高压脊控制,陕西中北部处于高压脊中。700~850 hPa上陕西境内为西南气流。地面上,陕西基本受热低压控制,无明显的冷空气。仅有3次过程(2015年9月10日、2017年7月12日、2017年7月20日)属于此类型,占总数的21%。

明显看出陕西弱天气系统下的暖区暴雨均产生在副热带高压影响的环境下,副高预报的不确

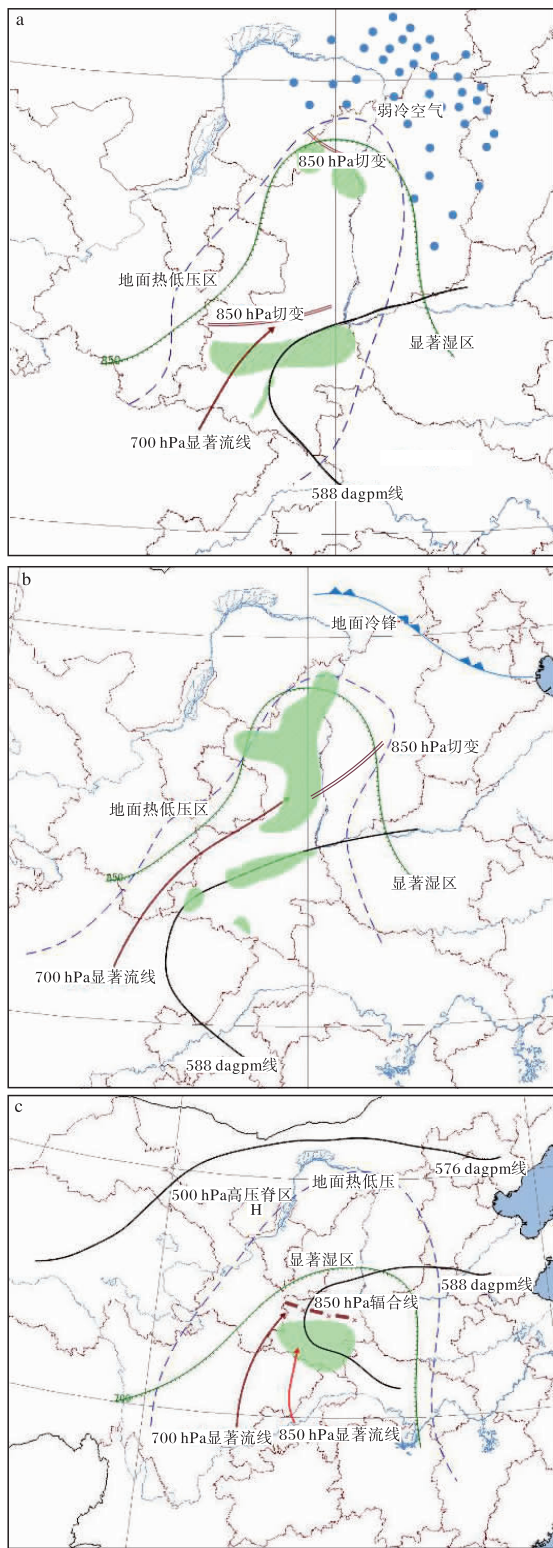


图1 2010—2020年陕西弱天气系统下暖区暴雨概念模型(a 副高冷空气渗透型,b 副高远距离冷锋型,c 副高弱脊型;绿色区域为暴雨落区;审图号为GS(2019)3082号)定性带来了暖区预报的难度。副热带高压西伸北抬,与西来系统相配合在中低层产生的西南或偏

南气流是暖区暴雨的能量和水汽的主要来源。在系统分型和分析中发现,副高冷空气渗透型和副高远距离冷锋型这两类暖区暴雨,副热带高压外围基本都有台风参与,台风外围和副高外围气流的合并加强了副高外围的水汽输送,同时台风的存在也维持了暴雨影响系统的稳定性。过程统计中发现,有台风参与的暖区暴雨过程一般情况下降雨强度和范围都较大。

### 3 不同类型暖区暴雨空间分布特征

从3类暴雨出现的站次(包括国家站和区域站)分布来看,副高冷空气渗透型、副高弱脊型分别为84、80站次,副高远距离冷锋型较少为77站次。图2给出了3类暖区暴雨在陕西省出现频次的分布情况。由图可见,副高冷空气渗透型暖区暴雨主要有两个落区(图2a),一个沿秦岭分布,主要位于秦岭北侧的宝鸡、咸阳和秦岭南侧的安康、商洛,出现频次较高的站为安康的镇坪(也是全省暴雨出现频次最高的站);另一个位于榆林中部的长城沿线和黄河沿岸,出现频次较高的为榆林的佳县和绥德。副高远距离冷锋型暴雨落区分布相对较为均匀(图2b),出现频次较高的站均位于榆林,其中榆阳中心广场站和古塔乡站各2次、府谷的田家寨站2次。副高弱脊型暖区暴雨落区(图2c)主要位于陕南的汉水谷地和米仓山、大巴山一线。对照3类暖区暴雨与陕西暴雨的分布<sup>[19]</sup>可以看出,暖区暴雨的高值中心基本呈两高型或一高型,较陕西普通暴雨少了陕北南部洛川至宜君一带的暴雨中心。这可能是暖区暴雨落区多位于副热带高压外围的原因。

### 4 不同类型暖区暴雨时间分布特征

从3类暖区暴雨过程中不同强度短时强降水出现次数的日变化(图3)可以看出,小时降雨量 $>20\text{ mm}$ 和 $>30\text{ mm}$ 的强降雨次数变化基本一致,期间出现两个明显的强降雨时段。一个时段是午后15时开始增多,17—19时达到高峰;另一个是入夜21时开始增多,00—04时达到高峰;上午时段短时强降水均出现的次数极少,具有明显的日变化特征。短时强降水绝大多数具有对流性降水性质,除了需要源源不断的水汽输送外,还需要有对流不稳定能量的释放和不断再生。午后到

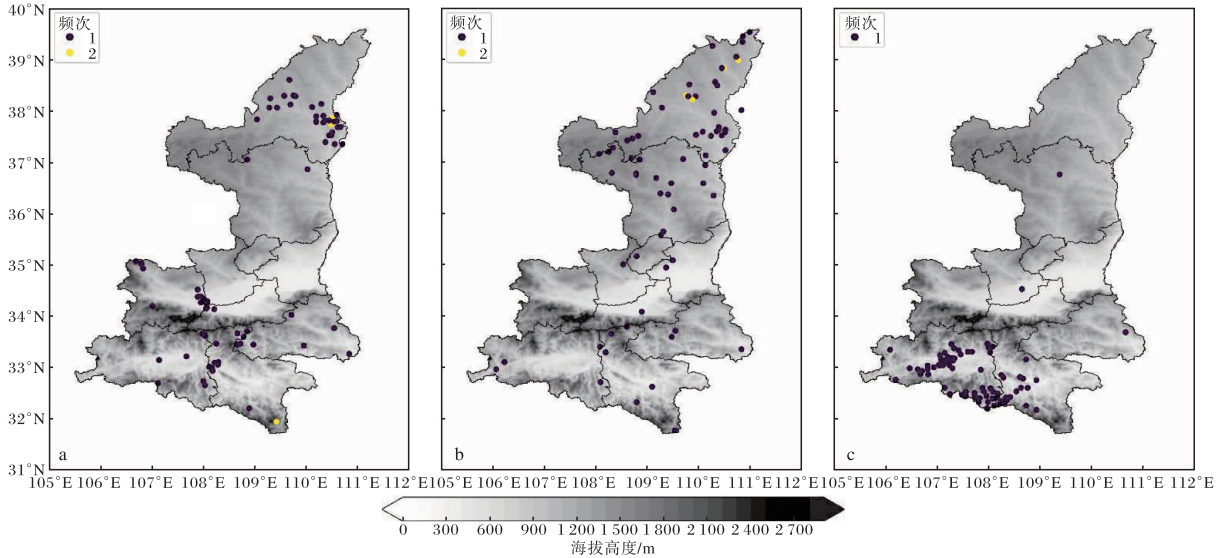


图2 陕西省3类暖区暴雨频次(单位为次)空间分布(a副高冷空气渗透型,b副高远距离冷锋型,c副高弱脊型;审图号为GS(2020)4619号)

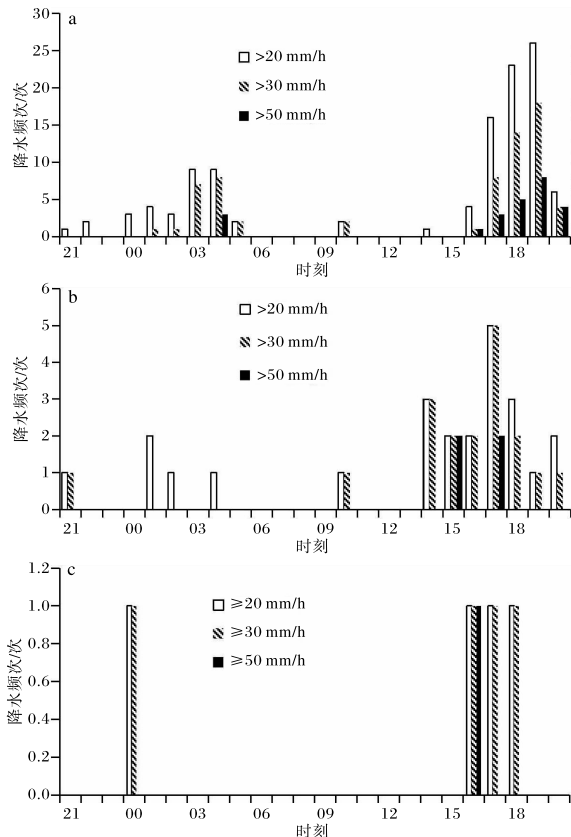


图3 不同类型暖区暴雨短时强降水频次(单位为次)分布(a副高冷空气渗透型,b副高远距离冷锋型,c副高弱脊型)

形成下暖上冷的不稳定层结,热力、动力作用明显,有利于不稳定能量的触发和释放,易形成暴雨。小时降雨量 $>50$  mm的强降水出现的次数总体较少,看不出明显的日变化规律。此外,副高冷空气渗透型和副高弱脊型强降水出现的时段更为集中,而副高远距离冷锋型出现的时段范围较为分散。

统计不同类型暖区暴雨中短时强降水站点数与总站数的百分比(表1)发现,在暖区暴雨发生过程中,42%的站点出现了小时降雨量 $>20$  mm的短时强降水,31%的站点出现了小时降雨量 $>30$  mm的短时强降水,11%的站点出现了小时降雨量 $>50$  mm的短时强降水,呈现明显的中尺度降雨特征。其中副高冷空气渗透型暴雨的中尺度特征最为明显,小时降雨量 $>20$  mm的短时强降水占比高达89%,小时降雨量 $>30$  mm的短时强

表1 3类暖区暴雨不同强度短时强降水站点数

暖区暴雨类型	占总站数百分比			%
	$>20$ mm/h	$>30$ mm/h	$>50$ mm/h	
副高冷空气渗透型	89	64	27	
副高远距离冷锋型	31	23	5	
副高弱脊型	5	5	1	
平均	42	31	11	

晚上,经过太阳辐射,地面增温明显,地面长波辐射释放的能量也增多,近地面空气加热明显,容易

降水占比也达到了 64%，小时降雨量 $>50$  mm 的短时强降水达到 27%，也就是说近三分之一的站在 1 个小时内达到了暴雨的标准，中尺度特征非常明显。

## 5 暖区暴雨的环境场条件

选取与暖区暴雨站点最为临近的探空站(包括陕西省内汉中、安康、西安、延安 4 站)每日 08 时或 20 时(暖区暴雨发生前最为临近时次)的探空观测数据(如 2020 年 8 月 3 日 03—09 时出现的暴雨过程,统计时次为 8 月 2 日 20 时;8 月 3 日 14—18 时出现的暴雨过程,统计时次为 3 日 08 时)进行统计,分析暖区暴雨发生的环境条件。

### 5.1 探空曲线特征

从 14 次暖区暴雨过程临近站点和临近时次的探空曲线来看,其中 12 次过程(占总数的 86%)整层湿度较大,400 hPa 以下基本为湿层(500 hPa 的温度露点差平均为  $2.3$   $^{\circ}\text{C}$ ),CAPE 呈狭长型,但值不是很大。其他 2 次过程(占总数的 14%)850 hPa 以下露点温度较大,大气湿润(850 hPa 的温度露点差平均为  $2.6$   $^{\circ}\text{C}$ ),湿层基本可达到 700 hPa,500 hPa 或以上基本处于干区中,干区的温度露点差基本在  $15$   $^{\circ}\text{C}$  以内。虽然具有上干下湿的结构,但由于  $0$   $^{\circ}\text{C}$  层高度较高,垂直风切变较弱,不利于冰雹大风天气的出现。暖区暴雨的探空曲线特征基本符合短时强降水两类温、湿廓线特征<sup>[20]</sup>。

### 5.2 暖区暴雨与一般暴雨及气候平均值的比较

对比暖区暴雨发生的环境条件与一般暴雨和气候平均值的不同。在研究中,选取暖区暴雨发

生之前和之后紧邻的除去本文选取的暖区暴雨个例之外的其他区域性暴雨(与暖区暴雨标准相同, $\geq 3$  站降雨量达到 50 mm 以上)为一般暴雨(如 2013 年 7 月 25 日暖区暴雨个例,选取紧邻的 2013 年 7 月 22 日和 2013 年 8 月 7 日暴雨为一般暴雨,而 2013 年 7 月 26 日的暖区暴雨个例排除)。根据这个原则,针对 14 次暖区暴雨过程,共选出 28 次一般暴雨进行物理量的统计;在统计气候平均值时,为了消除季节影响,气候平均值为暖区暴雨个例发生月的探空代表站的月平均值。

表 2 统计出暖区暴雨、一般暴雨和气候平均值的多个物理量,可以看出暖区暴雨的能量和水汽条件明显高于一般暴雨和气候平均值。三种类型的暖区暴雨的 K 指数平均值达  $39.7$   $^{\circ}\text{C}$ ,分别较一般暴雨和气候平均值偏高  $5.7$  和  $7.3$   $^{\circ}\text{C}$ ,其中副高远距离冷锋型 K 指数偏高最为显著,分别为  $6.4$  和  $8.0$   $^{\circ}\text{C}$ ;暖区暴雨 CAPE 的平均值为  $1\ 334$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,较一般暴雨略偏低,但明显高于气候平均值。暖区暴雨整层水汽含量平均值为  $3\ 383$   $\text{g}/\text{kg}$ ,较一般暴雨和气候平均值分别偏高  $769$   $\text{g}/\text{kg}$  和  $2\ 328$   $\text{g}/\text{kg}$ ,三种类型的暖区暴雨整层水汽含量差别较大,副高弱脊型数值高达  $4\ 547$   $\text{g}/\text{kg}$ ,副高远距离冷锋型仅为  $2\ 616$   $\text{g}/\text{kg}$ ;暖区暴雨 850 hPa 的温度露点差平均值为  $2.6$   $^{\circ}\text{C}$ ,明显低于一般暴雨的  $4.1$   $^{\circ}\text{C}$  和气候平均值的  $6.5$   $^{\circ}\text{C}$ ,三种类型暖区暴雨的温度露点差变化不大,850 hPa 均处于高湿状态。从 850 hPa 与 500 hPa 的温度差可以看出,暖区暴雨的温度差平均值为  $24.9$   $^{\circ}\text{C}$ ,

表 2 暖区暴雨、一般暴雨、气候平均值物理量统计值对比

不同类型过程		K 指数 / $^{\circ}\text{C}$	CAPE / $(\text{J}\cdot\text{kg}^{-1})$	LCL / $\text{km}$	TQ / $(\text{g}/\text{kg})$	$T-T_{850}$ / $^{\circ}\text{C}$	Shear / $10^{-3}\text{s}^{-1}$	$T_{(850-500)}$ / $^{\circ}\text{C}$	$H_0/\text{km}$
暖 区 暴 雨	副高冷空气渗透型	40.1	1 620	0.8	2 986	2.3	2.4	25.1	4.9
	副高远距离冷锋型	40.4	1 194	0.9	2 616	2.6	2.5	23.7	4.6
	副高弱脊型	38.5	1 189	0.8	4 547	2.8	2.4	25.9	4.7
	平均值	39.7	1 334	0.8	3 383	2.6	2.4	24.9	4.7
一般暴雨平均值		34.0	1 413	1.2	2 614	4.1	3.1	26.1	4.5
气候平均值		32.4	907	3.1	1 055	6.5	2.7	28.3	4.3

注: $T-T_{850}$ 表示 850 hPa 温度与露点温度差;Shear 表示 0~6 km 垂直风切变; $T_{(850-500)}$ 表示 850 hPa 与 500 hPa 温度差; $H_0$ 表示  $0$   $^{\circ}\text{C}$  层高度。

较一般暴雨和气候平均值分别偏低  $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 说明暖区暴雨发生时, 大气的垂直温差较小。暖区暴雨发生时  $0\sim 6\text{ km}$  垂直风切变的平均值为  $2.4\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ , 较一般暴雨偏小  $0.7\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ , 也较气候平均值略偏小  $0.3\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ , 3 种类型的暖区暴雨  $0\sim 6\text{ km}$  垂直风切变在  $(2.4\sim 2.5)\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$  范围内变化, 变化幅度较小, 基本发生在弱垂直风切变环境中。暖区暴雨的  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  层高度平均值为  $4.7\text{ km}$ , 较一般暴雨和气候平均值分别偏高  $0.2\text{ km}$  和  $0.4\text{ km}$ , 有利于更多的水汽形成降雨, 提高降水效率。

## 6 结论

(1) 2010—2020 年陕西省共出现 14 次弱天气影响下的暖区暴雨天气过程, 按照天气形势可分为副高冷空气渗透型、副高远距离冷锋型、副高暖脊型。3 类暖区暴雨均产生在副热带高压影响的环境下。

(2) 暖区暴雨出现的频次分布基本呈两高型(副高冷空气渗透型)或一高型(副高暖脊型)。三个高值中心分别为沿秦岭分布, 榆林中部的长城沿线和黄河沿岸, 陕南的汉水谷地和米仓山、大巴山一线; 副高冷锋型分布较为平均。

(3) 暖区暴雨发生短时强降水的站次频率高达  $41\%$ , 呈现明显的中尺度特征; 3 类暖区暴雨中的短时强降水具有明显的日变化特征, 存在两个明显的降水时段, 午后 15 时开始增多, 17—19 时达到高峰; 入夜 21 时又开始增多, 00—04 时达到高峰; 上午时段短时强降水出现的次数极少。

(4) 暖区暴雨具有异常的高能、高湿条件。与一般暴雨和气候平均值相比, 暖区暴雨发生在风垂直切变较小的弱垂直风切变中。

## 参考文献:

- [1] 黄土松. 华南前汛期暴雨[M]. 广州: 广东科技出版社, 1986: 244.
- [2] 林良勋, 冯业荣, 黄忠, 等. 广东省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 119.
- [3] 叶朗明, 苗峻峰. 华南一次典型回流暖区暴雨过程的中尺度分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 342-350.
- [4] 刘瑞鑫, 孙建华, 陈鲍发. 华南暖区暴雨事件的筛选与分类研究[J]. 大气科学, 2019, 43(1): 119-130.
- [5] 何立富, 陈涛, 孔期. 华南暖区暴雨研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 559-569.
- [6] 丁治英, 刘彩虹, 沈新勇, 等. 2005—2008 年 5、6 月华南暖区暴雨与高、低空急流和南亚高压关系的统计分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(3): 307-316.
- [7] 陈翔翔, 丁治英, 刘彩虹, 等. 2000—2009 年 5、6 月华南暖区暴雨形成系统统计分析[J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 707-718.
- [8] 沈杭锋, 章元直, 查贲, 等. 梅雨锋上边界层中尺度扰动涡旋的个例研究[J]. 大气科学, 2015, 39(5): 1025-1037.
- [9] 师锐, 陈永仁, 王春国. 副高断裂前后四川盆地一次暴雨过程的比较分析[J]. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 18-25.
- [10] 湛云, 孙军, 徐珺, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1254-1266.
- [11] 陈玥, 湛芸, 陈涛, 等. 长江中下游地区暖区暴雨特征分析[J]. 气象, 2016, 42(6): 724-731.
- [12] 汪玲瑶, 湛芸, 肖天贵, 等. 夏季江南地区暖区暴雨的统计分析[J]. 气象, 2018, 44(6): 771-780.
- [13] 肖递祥, 王佳津, 曹萍萍, 等. 四川盆地突发性暖区暴雨特征及环境场条件分析[J]. 气象, 2020, 29(3): 110-118.
- [14] 侯建忠, 井宇, 陈小婷, 等. 2016 年商洛“7·30”局地突发性大暴雨综合分析及预报着眼点探讨[J]. 陕西气象, 2017(5): 1-5.
- [15] 胡启元, 李萍云, 井宇, 等. “17·7”榆林地区特大暴雨成因及多普勒雷达特征分析[J]. 陕西气象, 2018(2): 10-15.
- [16] 高维英, 李明, 侯建忠. 台风远距离影响下的大暴雨对流涡度矢量分析[J]. 气象科技, 2012, 40(5): 814-819+838.
- [17] 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.
- [18] 马晓华, 马青, 屈丽玮, 等. 一次低涡影响下的西北地区东部暴雨个例分析[J]. 陕西气象, 2021(4): 1-8.
- [19] 杜继稳, 侯明全, 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.
- [20] 樊李苗. 短时强降水发生的环境条件和个例分析[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2012.