

王珊,薛荣,魏俊涛,等.西安市暴雨预警信号1 h标准本地化修订研究[J].陕西气象,2023(6):33-40.

文章编号:1006-4354(2023)06-0033-08

西安市暴雨预警信号1 h标准本地化修订研究

王珊¹,薛荣¹,魏俊涛¹,王丽¹,刘瑞芳¹,杨睿¹,刘延莉²,庞菲菲^{1,3}

(1. 西安市气象局,西安 710016;2. 灞桥区气象局,西安 710038;

3. 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1991—2021年西安市7个国家级地面气象站及2011—2021年西安市157个区域气象观测站逐小时降水数据,采用滑动累加的算法构建1 h、3 h、6 h、12 h不同时间间隔降雨量数据集。对上级推荐的关中地区暴雨预警信号1 h降雨量阈值参考标准在西安的适用性进行了讨论,并利用百分位法,结合西安暴雨灾害风险普查中短历时降水不同历史重现期数据成果,同时考虑西安城市排涝能力,在关中地区暴雨1 h标准参考阈值基础上,提出2种西安市暴雨预警信号1 h标准本地化备选修订方案。利用2015—2021年西安市气象观测站逐小时降水数据,分别对上级推荐及2个备选1 h雨量标准修订方案中,符合不同等级暴雨预警信号标准的降雨过程进行统计评估,得到西安市暴雨预警信号1 h新标准,并开展对外模拟试点发布,取得良好的服务效果。

关键词:暴雨预警信号;百分位法;修订;历史回算

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

短时强降水具有历时短、雨强大、局地性强的特点,往往可以引发城市内涝、山洪、泥石流等次生灾害^[1-2]。目前,西安暴雨预警信号标准及防御指南依据2007年6月11日中国气象局制定的《气象灾害预警信号发布与传播办法》(中国气象局令第16号)及所附的《气象灾害预警信号及防御指南》,该暴雨预警信号标准属于过程降雨量标准,对降雨强度反映不明显^[3],不能满足西安市预警应急响应一体化防灾减灾需求。近年来,国内多省市先后启动了气象灾害预警信号标准修订工作,并出台了一系列气象灾害预警信号发布的地方规定,在气象防灾减灾实践中取得了较好的服务效果。陕西省气象台(以下简称省台)基于关中地区1991—2021年国家级地面气象站逐小时降水数据,分析给出了关中地区暴雨预警信号1 h标准参考阈值,但由于阈值制定过程中并未纳入区域站逐小时降水资料进行分析,且没有充分考

虑西安地区1 h短时暴雨致灾影响,因此有必要在参考其阈值基础上,对西安地区1 h暴雨预警信号的标准进行本地化修订。本文在结合西安地区降水气候特征及大城市气象防灾减灾需求的基础上,分析西安大城市暴雨发生发展规律,应用西安气象灾害风险普查成果,考虑短历时强降雨可能引发城市内涝等灾害影响,参考省台关中地区暴雨1 h标准推荐阈值,对西安1 h暴雨预警信号的标准进行本地化修订。

1 资料与方法

1.1 资料

利用西安地区1991—2021年7个国家级地面气象站及2011—2021年西安地区157个区域气象观测站逐小时降水数据进行分析。在使用降水数据时,首先采用空间一致性、要素一致性、气候界限值等方法进行第一次质量控制^[4-5]。为了确保极端短时降水阈值的准确性,对小时降雨量

收稿日期:2022-12-15

作者简介:王珊(1981—),女,汉族,山西长治人,硕士,高工,主要从事短期天气预报及应用气象研究。

基金项目:西安市气象局揭榜挂帅项目(2022-7,2022-10);国家自然科学基金重点项目(42130612);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(2019Y-8,2022Y-3)

≥50 mm 的降水记录,通过多普勒天气雷达、卫星云图、周边区域降水实况^[6]、历史预警及雨情发布等资料进行反查、甄别与再次质控。

1.2 方法

根据《预报司 减灾司关于气象灾害(暴雨)预警信号调整工作的通知》(气预函〔2022〕33号)中的技术要求,采用百分位法^[2,7]和滑动累加的算法^[8],构建了西安地区 1 h、3 h、6 h、12 h 不同时间间隔的降雨量数据集,同时统计得到不同时间间隔降雨量最大值、99%分位、99.5%分位及 99.9%分位值。

1.2.1 1 h 降雨量序列确定 统计时段内所有 ≥0.1 mm 的小时降雨量(包含降水出现时间),并按升序排列(包括降水出现的时间),得到数据序列 $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$ 。 m 为 X_m 的序号, n 为该时效降水序列中样本的个数。

1.2.2 滚动 3 h、6 h、12 h 累计降雨量序列确定

以 3 h 累计降雨量为例,统计时段内各站第 1 个至第 3 个时次,第 2 个至第 4 个时次,第 3 个至第 5 个时次,……,以此类推计算得到 3 h 累计降雨量和出现时间序列,并将统计时段内 ≥0.1 mm 的 3 h 累计降雨量按升序排列,得到数据序列 $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$ 。若累加计算 3 h 内有缺测时次,则该 3 个累加时次对应的样本记为缺测。6 h、12 h 累计降雨量序列和出现时间的确定与 3 h 类似。

1.2.3 降雨量百分位统计方法 按照升序排列的 1 h 降雨量和滚动 3 h、6 h、12 h 累计降雨量序列 $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$,某个值 ≤ X_m 的概率

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38), \quad (1)$$

如果序列中有 300 个值(即 $n = 300$),则第 99 百分位上的值为排序 X_{297} ($P = 98.8\%$)和 X_{298} ($P = 99.1\%$)的线性插值。由此得到各时间间隔升序降雨量序列中不同百分位等级对应的降雨量值。

2 暴雨预警信号 1 h 标准本地化修订

西安市暴雨预警信号 1 h 标准的本地化修订是在上级推荐参考标准的基础上进行的二次修订。

2.1 关中地区参考阈值在西安适用性的讨论与分析

经过对陕西省关中地区国家气象观测站

1991—2021 年逐小时降雨量的分析,省台给出关中地区暴雨预警信号 1 h 降雨量参考标准为:将 1 h 降雨量纳入暴雨预警信号发布标准,在黄色、橙色及红色三个等级中体现,1 h 降雨量达到 20 mm 时发布暴雨黄色预警信号,1 h 降雨量达到 40 mm 时发布暴雨橙色预警信号,1 h 降雨量达到 60 mm 时发布暴雨红色预警信号。将其简称为推荐方案。整体来看,该方案在西安应用存在一定局限性。国家气象站站点较为稀疏,空间分辨率较低,而短历时暴雨往往具有局地性,国家气象站资料对短时强降水来说代表性不够^[1,5-6],因此有必要对关中地区暴雨预警信号 1 h 推荐标准进行分析,讨论其在西安地区的适用性。为评估其在西安地区的适用性与合理性,评估过程中需纳入西安地区区域站观测资料进行分析对比,并将区域站资料的分析结果作为评估的重要参考。

在评估推荐方案参考标准适用性之前,有必要对短历时暴雨极端性进行讨论。根据中国气象局《全国短临预报业务规定》,短时强降水过程的标准为 1 h 降雨量 ≥ 20 mm^[9-10]。近年来也有不同学者用百分位法对短时强降水极端性阈值进行了分析与界定,不同地域范围极端性强降水阈值选取时采取的百分位等级均有不同。侯淑敏等^[12]指出基于国家气象站和区域站,将各站 1 h 降雨量 99.5%分位值作为山东省极端短时强降水的阈值最为合理。翟盘茂等^[11]将 1 h 降雨量 99%分位值的 30 a 平均值定义为站点的极端降水事件阈值。蔡新玲等^[2]指出,目前国内外短历时极端强降水没有统一的标准。故其在统计 1961—2011 年陕西省汛期短时强降水变化特征时,采用 1 h 降雨量 98%分位值定义了陕西省各个测站小时极端强降水的阈值。因此,暴雨预警信号 1 h 标准选取时百分位等级的确定应结合西安地区 1 h 降雨量数据分析结果而定。

表 1 为关中地区与西安地区 1 h 最大降雨量、1 h 降雨量 99%分位数统计结果。可以看出,西安地区国家气象站 1 h 降雨量的最大值为 43.4~92.1 mm,中位数为 71.1 mm,与关中相比,极大值基本持平,中位数偏高 25%。从区域站观测资料来看,西安地区 1 h 降雨量最大值为

20.4~97.8 mm,中位数为 44.1 mm,与关中相比,极大值基本持平,中位数偏低 22%。与国家观测站相比,西安地区区域站 1 h 降雨量最大值略偏高,但中位数偏低 40%,区域站 1 h 降雨量最大、最小值离散度较大。由关中地区与西安地区 1 h 降雨量 99%分位数统计值可见,西安地区国家气象站 1 h 降雨量的 99%分位值为 7.6~

9.2 mm,中位数为 8.1 mm,与关中整体相比,极大值略偏低,中位数基本持平。西安地区区域站 1 h 降雨量 99%分位值为 6.5~12.7 mm,中位数 8.4 mm,与关中整体相比,极大值略偏高,中位数基本持平。与西安地区国家观测站相比,区域站 99%分位极大值偏高 38%,中位数基本持平,整体来看区域站 1 h 降雨量 99%分位数据离散度较大。

表 1 1 h 最大降雨量和 1 h 降雨量 99%分位数分区统计 单位:mm

区域	最大降雨量			99%分位降雨量		
	最大值	最小值	中位数	最大值	最小值	中位数
关中地区(国家站)	101.5	31.3	56.7	11.3	7.3	8.6
西安地区(国家站)	92.1	43.4	71.1	9.2	7.6	8.1
西安地区(区域站)	97.8	20.4	44.1	12.7	6.5	8.4

综合分析小时降雨量极值、99%分位小时降雨量(表 1)和 99.5%分位小时降雨量(表 2)可以看出,当 1 h 降雨量阈值为 20 mm 时,西安市所

有国家站与区域站 1 h 降雨量均达到 99.5 百分位,具有极端性。因此,将 1 h 降雨量 20 mm 作为暴雨黄色预警信号发布的阈值较为合理。

表 2 1 h 降雨量 99.5%、99.9%分位数分区统计 单位:mm

区域	99.5%分位小时降雨量			99.9%分位小时降雨量		
	最大值	最小值	中位数	最大值	最小值	中位数
西安地区(国家站)	13.6	10.1	11.0	26.9	20.9	23.6
西安地区(区域站)	19.8	8.0	11.8	43.6	13.5	25.0

当 1 h 降雨量阈值为 40 mm 时,该阈值虽达不到西安市所有国家站最大小时降雨量,但能够达到区域站 38%的站点最大小时降雨量值。当 1 h 降雨量阈值为 60 mm 时,该阈值大于西安市 33%的国家站最大小时降雨量,并大于 86%的区域站最大小时降雨量。

综合考虑,推荐方案给出的 1 h 暴雨预警信号参考标准只在黄色、橙色、红色三个等级中体现,并未给出暴雨蓝色预警信号 1 h 降雨量发布指导标准。同时,根据西安市气象台预报服务业务经验,将 1 h 降雨量 20 mm 作为暴雨黄色预警信号发布标准可能会造成预警信号发布次数偏多,因此有必要适当提高百分位等级进一步分析,探索有无更合理的备选方案,并开展检验评估,在此基础上最终确定适合西安的标准方案。

2.2 在推荐方案基础上提高百分位等级后的修订方案

首先讨论暴雨蓝色预警信号 1 h 标准百分位的确立及阈值的合理性。按照 99%分位数,1 h 降雨量达到 10 mm 时,西安市所有国家站点 1 h 降雨量超过 99%分位值,但区域站只有 12%的站点达到 1 h 降雨量 99%分位值。同时根据预报服务业务经验,用 1 h 降雨量 10 mm 作为暴雨蓝色预警信号发布阈值明显偏小,故需适当提高百分位。从西安市国家气象站观测资料(表 2)分析得出,1 h 降雨量 99.5%分位值为 10.1~13.6 mm,中位数为 11.1 mm。区域站观测资料(表 2)1 h 降雨量的 99.5%分位值为 8.0~19.8 mm,中位数为 11.8 mm。与国家观测站相比,区域站 99.5%分位的最大值偏大 45%,中位数基本持

平,99.5%分位的小时降雨量在11 mm左右,区域站1 h降雨量99.5%分位数据离散度较大。经统计,西安地区所有国家站小时降雨量99.5%分位均在15 mm以下,91%的区域站小时降雨量99.5%分位均在15 mm以下,15 mm已经具有极端性。因此将1 h降雨量15 mm作为暴雨预警信号发布的最低阈值,纳入到暴雨蓝色预警信号是较为合理的。

其次讨论暴雨预警信号蓝色以上等级1 h降雨量标准百分位的确立及阈值的合理性。由于推荐方案给出的暴雨黄色、橙色、红色三个等级预警信号参考标准在综合考虑99%分位、99.5%分位数基础上设置,在此提高百分位至99.9%分位加以讨论。由西安地区国家气象站观测资料(表2)分析得出,1 h降雨量99.9%分位为20.9~26.9 mm,中位数为23.6 mm;区域站观测资料分析得出,1 h降雨量99.9%分位为13.5~43.6 mm,中位数为25.0 mm。与国家观测站相比,区域站99.9%分位最大值偏高62%,中位数基本持平,99.9%分位的小时降雨量在25 mm左右,把1 h降雨量25 mm作为暴雨黄色预警信号1 h标准阈值确定时的降雨基础参考量,对其上下浮动再次进行细致讨论。经分析,当1 h降雨量为30 mm时,全市所有国家站1 h降雨量均超过99.9%分位值,区域站79%的站点1 h降雨量达到99.9%分位值,具有较高极端性。为评估将99.9%分位值作为暴雨黄色预警信号1 h标准阈值的合理性,对暴雨黄色预警信号原6 h标准百分位等级进行分析。国家站6 h降雨量在99.9%分位降雨量中位数为57 mm,区域站6 h降雨量在99.9%分位的中位数为55 mm,6 h降雨量为50 mm的百分位高于99.5%,基本接近99.9%。因此当1 h降雨量达到30 mm时发布暴雨黄色预警信号是较为合理的。

同理分析,将1 h降雨量达到45 mm作为暴雨橙色预警信号发布标准时,该标准阈值大于1个国家站点最大小时降雨量,并大于全市区域站53%的站点最大小时降雨量。将1 h降雨量达到60 mm作为暴雨红色预警信号发布标准时,该标准阈值大于全市33%的国家站点最大小时降雨

量,并大于全市86%的区域站点最大小时降雨量。

经过上述分析得出,如果适当提高百分位等级,且考虑设置暴雨蓝色预警信号1 h标准,则得出以下方案:1 h降雨量达到15 mm时发布暴雨蓝色预警信号,1 h降雨量达到30 mm时发布暴雨黄色预警信号,1 h降雨量达到45 mm时发布暴雨橙色预警信号,1 h降雨量达到60 mm时发布暴雨红色预警信号。将该方案设为备选方案1,效果待检验评估。

2.3 考虑西安市暴雨灾害风险普查成果及城区排涝能力的修订方案

根据《预报司 减灾司关于气象灾害(暴雨)预警信号调整工作的通知》(气预函〔2022〕33号)中的技术要求,在暴雨预警信号调整过程中,应充分考虑短历时强降雨可能引发的城市内涝、山洪、地质灾害、中小河流洪水等灾害影响,同时结合气象灾害综合风险普查阶段性成果开展相关工作。在近年西安市城市内涝监测预报预警实践中,西安市部分老城区的雨水管网能应对20 mm/h以下的降雨强度,新建改造的雨水管网能应对30 mm/h以下降雨强度。当降雨量超过每小时30 mm时,特别是出现局地、短时强降雨时,管网排水能力不足问题凸显,城区极易出现内涝。

结合2.1节、2.2节中数据分析结论,1 h降雨量达到20 mm时具有较强极端性。根据西安市暴雨灾害风险普查数据,1 h降雨量20 mm接近西安市暴雨灾害5 a重现期平均值(表3)。同时参考城区下垫面排水能力,1 h降雨量达到20 mm时,西安市部分老城区排涝困难,可考虑发布暴雨蓝色预警信号。当1 h降雨量达到30 mm时,新建城区排涝也出现困难,全市产生积涝可能性增大,同时1 h降雨量30 mm位于暴雨灾害10 a重现期与20 a重现期对应1 h降雨量的平均值之间,可考虑发布暴雨黄色预警信号。当1 h降雨量达到40 mm时,该值大于全区38%的区域站最大小时降雨量,同时1 h降雨量40 mm位于暴雨灾害20 a重现期与50 a重现期对应1 h降雨量的平均值之间,可考虑发布暴雨橙色预警信号。当1 h降雨量达到50 mm时,该值大于西安市1个国家站点的最大小时降雨量,大于

71%的区域站最大小时降雨量,同时1 h降雨量50 mm位于暴雨灾害50 a重现期与100 a重现期

对应1 h降雨量的平均值之间,可考虑发布暴雨红色预警信号。

表3 1978—2020年不同历史重现期西安市1 h降雨量

单位:mm

重现期/a	未央区	鄠邑区	高陵区	周至县	长安区	临潼区	蓝田县	平均值
5	20.6	23.3	24.6	24.5	27.6	25.3	27.2	20.6
10	26.7	28.8	31.7	30.9	35.0	32.4	43.2	26.7
20	33.6	34.0	38.5	37.0	42.1	40.1	62.9	33.6
50	44.4	40.7	47.3	44.9	51.3	51.7	96.7	44.4
100	54.1	45.8	53.8	50.8	58.1	61.8	130.0	54.1

结合西安地区城市排涝能力及暴雨灾害风险普查成果分析,得出以下方案:1 h降雨量达到20 mm时发布暴雨蓝色预警信号,1 h降雨量达到30 mm时发布暴雨黄色预警信号,1 h降雨量达到40 mm时发布暴雨橙色预警信号,1 h降雨量达到50 mm时发布暴雨红色预警信号。将该方案设为备选方案2,效果待检验评估。

3 历史反查与回算

经上述讨论,得出了西安市暴雨预警信号1 h发布标准的三种方案(推荐方案、备选方案1、备选方案2)。为反查三种方案的实际发布效果,利用2015—2021年的全市气象观测站(包括国家站和区域站)逐小时降雨量数据,采用滑动累加的算法处理得到1 h、3 h、6 h、12 h不同时间间隔段的

降雨量,分别对暴雨预警信号1 h降雨量标准的3个方案中不同等级预警信号发布次数进行了逐一回算统计。

3.1 暴雨红色预警信号等级发布次数的历史反查与回算

对2015—2021年降雨量过程反查表明,就暴雨红色预警信号(表4)而言,增加1 h降雨量标准(推荐方案、备选方案1为60 mm/h,备选方案2为50 mm/h)后,会把按照原标准造成漏发,但是影响较为严重的短时暴雨过程包含在内,起到较好的补充预警作用。按照1 h降雨量50 mm标准发布暴雨红色预警信号比按照1 h降雨量60 mm标准发布时,把漏发的暴雨过程补充在内的作用更好。

表4 2015—2021暴雨红色预警信号原标准、推荐方案、备选方案应发及增发次数

年份	原标准	推荐方案、备选方案1(60 mm/h标准)		备选方案2(50 mm/h标准)	
	应发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	应发次数/次	增发次数/次
2015	1	2	1	2	1
2016	1	2	1	7	6
2017	0	3	3	3	3
2018	0	1	1	3	3
2019	0	1	1	2	2
2020	1	3	2	6	5
2021	2	4	2	4	2
平均/(次/a)	0.7	2.3	1.6	3.9	3.1

3.2 暴雨橙色预警信号等级发布次数的历史反查与回算

就暴雨橙色预警信号而言,增加1 h降雨量

标准(推荐方案、备选方案1为45 mm/h、备选方案2为40 mm/h)后,暴雨橙色预警信号增发次数不明显(表5)。即按照1 h降雨量40 mm或者

1 h 降雨量 45 mm 标准发布暴雨橙色预警信号, 的补充作用不明显。
对按照 3 h 降雨量 50 mm 原标准发布预警信号

表 5 2015—2021 年暴雨橙色预警信号原标准、推荐方案、备选方案应发及增发次数

年份	原标准	推荐方案、备选方案 2(40 mm/h 标准)		备选方案 1(45 mm/h 标准)	
	应发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	应发次数/次	增发次数/次
2015	11	11	0	11	0
2016	12	12	0	12	0
2017	5	5	0	5	0
2018	5	7	2	7	0
2019	6	6	0	6	0
2020	7	7	0	7	0
2021	13	14	1	14	1
平均/(次/a)	8.4	8.9	1.5	8.9	1.0

3.3 暴雨黄色预警信号等级发布次数的历史反查与回算

就暴雨黄色预警信号而言(表 6), 增加 1 h 降雨量标准(推荐方案为 20 mm/h, 备选方案 1、备选方案 2 为 30 mm/h)后, 按照 1 h 降雨量 20 mm

降雨量标准, 每年增发暴雨黄色预警信号的次数平均值为 18 次, 明显偏多。按照 1 h 降雨量 30 mm 发布标准(备选方案 1、备选方案 2), 每年暴雨黄色预警信号发布次数平均增加 5 次左右, 较为合理。

表 6 2015—2021 年暴雨黄色预警信号原标准、推荐方案、备选方案应发及增发次数

年份	原标准	推荐方案(20 mm/h 标准)		备选方案 1(30 mm/h 标准)		备选方案 2(30 mm/h 标准)	
	应发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	应发次数/次	增发次数/次
2015	3	21	18	10	7	10	7
2016	8	26	18	15	7	15	7
2017	3	20	17	7	4	6	3
2018	3	33	30	13	10	10	7
2019	6	21	15	10	4	10	4
2020	8	23	15	14	6	12	4
2021	18	34	16	18	0	18	0
平均/(次/a)	7.0	25.4	18.4	12.4	5.4	11.6	4.6

3.4 暴雨蓝色预警信号等级发布次数的历史反查与回算

就暴雨蓝色预警信号而言(表 7), 增加 1 h 降雨量标准(推荐方案中无 1 h 降雨量标准, 备选方案 1 为 15 mm/h, 备选方案 2 为 20 mm/h)后, 会将按照原标准发布暴雨蓝色预警信号时造成漏

发, 但是影响较为严重的局地性、突发性短时暴雨过程包含在内, 起到一定的补充预警作用。其中, 按照 1 h 降雨量 15 mm 的标准, 平均每年增发暴雨蓝色预警信号 29.3 次; 按照 1 h 降雨量 20 mm 的标准, 每年增发暴雨黄色预警信号 18 次左右, 均明显偏多。

表 7 2015—2021 年暴雨蓝色预警信号原标准、备选方案应发及增发次数

年份	原标准		备选方案 1(15 mm/h 标准)		备选方案 2(20 mm/h 标准)	
	应发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	应发次数/次	增发次数/次	
2015	8	30	22	39	17	
2016	7	37	30	50	20	
2017	9	40	31	48	17	
2018	7	54	47	79	32	
2019	10	33	23	33	10	
2020	9	31	22	37	15	
2021	19	49	30	49	19	
平均/(次/a)	9.9	39.1	29.3	47.9	18.6	

暴雨预警信号中新增 1 h 降雨量标准后,与原标准相比,3 个方案各等级预警信号年平均增发次数如下(表 8)。按照推荐方案,增加 1 h 降雨量 20 mm 为暴雨黄色预警信号发布标准,会造成暴雨黄色预警信号增发次数过多;增加 1 h 降雨量 40 mm 为暴雨橙色预警信号发布标准后,暴雨橙色预警信号发布次数增加不明显;按照 1 h 降雨量 60 mm 标准发布暴雨红色预警信号会把按照原标准造成漏发、但是影响较为严重的短时暴雨过程包含在内,起到较好的补充预警作用。按照备选方案 1,增加 1 h 降雨量 15 mm 为暴雨蓝色预警信号发布标准,会对影响较为严重的局地性、突发性短时暴雨过程起到一定的补充预警作用,但会造成暴雨蓝色预警信号增发次数过多;增加 1 h 降雨量 30 mm 为暴雨黄色预警信号发布标准,每年暴雨黄色预警信号发布次数平均增加 5.4 次,较为合理;增加 1 h 降雨量 45 mm 为暴雨

橙色预警信号发布标准后,暴雨橙色预警信号发布次数增加亦不明显,比按照推荐方案中 1 h 降雨量 40 mm 标准发布时增发的次数少;按照 1 h 降雨量 60 mm 标准发布暴雨红色预警信号的效果同推荐方案。按照备选方案 2,增加 1 h 降雨量 20 mm 为暴雨蓝色预警信号发布标准,也会造成暴雨蓝色预警信号增发次数过多;增加 1 h 降雨量 30 mm 为暴雨黄色预警信号发布标准,每年暴雨黄色预警信号发布次数平均增加 4.6 次,较为合理;增加 1 h 降雨量 40 mm 为暴雨橙色预警信号发布标准效果同推荐方案;增加 1 h 降雨量 50 mm 为暴雨红色预警信号发布标准会把按照原标准造成漏发,但是影响较为严重的短时暴雨过程包含在内,起到较好的补充预警作用,但与按照 1 h 降雨量 60 mm 的标准发布相比,暴雨红色预警信号增发次数略偏多。

表 8 2015—2021 年各方案不同等级暴雨预警信号增发次数年平均均值

预警信号级别	降雨量(原标准)/mm			推荐方案		备选方案 1		备选方案 2	
	12 h	6 h	3 h	雨强 /(mm/h)	增发次数 /(次/a)	雨强 /(mm/h)	增发次数 /(次/a)	雨强 /(mm/h)	增发次数 /(次/a)
蓝色	50					15	29.3	20	18.6
黄色		50		20	18.4	30	5.4	30	4.6
橙色			50	40	1.5	45	1.0	40	1.5
红色			100	60	1.6	60	1.6	50	3.1

遵循既满足预警服务需求,又不大量增加无效预警的原则,对比三个方案,形成最优方案:1 h降雨量达到 30 mm 时发布暴雨黄色预警信号,1 h降雨量达到 45 mm 时发布暴雨橙色预警信号,1 h降雨量达到 60 mm 时发布暴雨红色预警

信号。

按照最优方案,2022年7—8月西安市气象台进行了试点模拟发布,平均准确率为64.3%,平均提前量为35 min(表9)。同时,据西安市应急管理局等部门应用反馈,服务效果良好。

表9 2022年7—8月西安市气象台暴雨预警信号1 h雨量标准试点模拟发布准确率和提前量

暴雨日期	发布时间	预警信号	标准/(mm/h)	准确率/%	提前量/min
7月15—16日	22:20	橙色	45	100	90
	23:25	橙色	45	100	95
	23:50	橙色	45	100	30
8月3日	17:20	黄色	30	50	30
	18:10	橙色	45	0	0
8月4日	16:00	橙色	45	0	0
8月18日	18:55	红色	60	100	0
平均值				64.3	35

4 结语

在陕西省气象台推荐的关中地区暴雨预警信号1 h发布标准参考阈值基础上,对西安区域降水历史特征进行分析,基于百分位法、滑动累加法,结合西安暴雨灾害风险普查中短历时降水不同历史重现期数据成果,同时考虑西安城市排涝能力,修订了推荐方案并得到了西安市暴雨预警信号1 h发布标准:1 h降雨量达到30 mm时发布暴雨黄色预警信号,1 h降雨量达到45 mm时发布暴雨橙色预警信号,1 h降雨量达到60 mm时发布暴雨红色预警信号。以此分析为支撑,西安市气象部门在2022年汛期开展了暴雨预警信号修订及精细化发布试点的有益探索,为预报预警应急响应一体化提供了决策依据,取得了良好的服务效果。

致谢:本文得到王建鹏、毕旭正研级高工的精心指导和北京市气象台、陕西省气象台、陕西省气象局预报处的大力支持,在此表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 李萍云,赵强,王楠,等. 2005—2008年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象,2019(5):34-39.
 [2] 蔡新玲,叶殿秀,孙娴,等. 1961—2011年陕西省汛期短时强降水变化特征[J]. 高原气象,2014,33

(6):1618-1626.

[3] 黄铃光,黄慧琳. 福建省短时强降水分布特征及暴雨预警指标分析[J]. 海峡科学,2021(9):11-15.
 [4] 张宁,刘科男,王遂缠,等. 兰州市短时强降水的时空分布特征及地形因素[J]. 干旱气象,2020,38(2):242-248.
 [5] 冷亮,周伶俐,肖艳姣,等. 基于地面分钟雨量数据的湖北省短时强降水时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害,2021,40(1):61-68.
 [6] 侯淑梅,孙敬文,孙鹏程. 基于加密自动观测站和国家气象观测站的山东省极端短时强降水时空分布特征的对比分析[J]. 气象,2020,45(2):200-211.
 [7] 彭芳,吴古会,杜小玲,等. 贵州省汛期短时降水时空分布特征分析[J]. 气象,2012,38(3):307-313.
 [8] 肖蕾,杜小玲,武正敏,等. 贵州省短时强降水时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害,2021,40(4):383-392.
 [9] 田晓璐,马月枝,朱枫. 新乡市短时强降水特征分析[J]. 陕西气象,2022(1):35-40.
 [10] 陈鹏,周盈颖,冯萍,等. 重庆短时强降水时空特征分析[J]. 气象科技进展,2021,11(2):39-45.
 [11] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报,2003,58(增刊1):1-10.