doi:10.11988/ckyyb.20180062 2019,36(8):55-60

基于线性矩法的短历时暴雨频率分布研究

牛 晨,王双银,吴素娟
(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:研究短历时暴雨频率分布,可为小流域设计洪水计算提供依据,对山洪灾害防治及城镇防洪排涝具有重要意义。以陕西省18个基准气象站和基本气象站1984—2013年的实测暴雨资料为依据,采用年最大值选样法选取了各站点10,30,60,90,120 min 5个短历时共90组的暴雨量序列,采用线性矩法分别估计了各序列的皮尔逊Ⅲ型分布(P-Ⅲ)、广义极值分布(GEV)、耿贝尔分布(Gumbel)、正态分布(N)、指数分布(EXP)和两参数伽马分布(Gamma)参数,并以确定性系数、误差平方和和概率点据相关系数分别分析各备选分布的拟合精度。结果表明:①各站点暴雨量序列均值和线性离散系数随历时增加均呈上升趋势,而线性偏态系数随历时变化无统一趋势;②同历时各站点暴雨量序列均值自西向东呈递增趋势,秦岭以北线性离散系数和线性偏态系数自西向东呈递减趋势,秦岭以南线性离散系数和线性偏态系数则呈现出中部高、东西低的态势;③以P-Ⅲ分布(包含Gamma分布)为最优分布的暴雨量序列为81组,占总序列组数的90.0%,可作为研究区短历时暴雨的理论频率分布。研究成果可为城市防洪、排涝规划以及相关工程设计的雨量计算提供参考依据。

关键词:短历时暴雨频率分布;年最大值选样法;线性矩法;小流域设计洪水;山洪灾害防治;城镇防洪排涝
中图分类号:P333.2 **文献标志码**:A
文章编号:1001-5485(2019)08-0055-06

L-moment Analysis on Frequency Distribution of Short-duration Rainstorm

NIU Chen, WANG Shuang-yin, WU Su-juan
(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Studying the frequency distribution of short-duration rainstorm could provide basis for design flood calculation in small watershed, which is of great significance to the prevention and control of mountain flood disaster and flood control and drainage of towns. On the basis of measured rainstorm data of 18 benchmark and basic meteorological stations in Shaanxi Province from 1984 to 2013, a total of 90 sequences of rainstorm of short duration (10 min, 30 min, 60 min, 90 min, and 120 min) were selected for the study using annual maximum value method. The parameters of Pearson III distribution (P-III), generalized extreme value distribution (GEV), Gumbel distribution (Gumbel), normal distribution (N), exponential distribution (EXP), and two-parameter gamma distribution (Gamma) of each sequence were estimated by linear moment method. The accuracy of fittings were analyzed according to certainty coefficient, sum of squared errors, and probability plot correlation coefficient. Results evinced that: (1) The mean value and linear dispersion coefficient of the rainstorm sequence of each site both displayed increasing trend with the elongation of rainstorm, whereas the linear skewness coefficient showed no uniform trend. (2) The mean value of rainstorm sequences of the same duration increased from the west to the east. The linear dispersion coefficient and linear skewness coefficient in the north of Qinling Mountain decreased from the west to the east, but in the south of Qinling Mountain, the two coefficients were larger in the middle and smaller in the east and west. (3) The optimal distribution of 81 rainstorm sequences, covering 90% of the total sequence groups, is P-Ⅲ

收稿日期:2018-01-18;**修回日期**:2018-03-26
基金项目:陕西省水利科技项目(2017slkj-1)
作者简介:牛 晨(1992-),男,山西运城人,硕士研究生,从事水文极值事件研究。E-mail:niu_chen@nwafu.edu.cn
通信作者:王双银(1969-),男,甘肃镇原人,副教授,博士,主要从事水文极值事件和水资源配置方面的研究。E-mail:wshy@nwsuaf.edu.cn

distribution (including Gamma distribution), which can be used as the theoretical frequency distribution of short-duration rainstorm in the study area.

Key words: frequency distribution of short duration rainstorm; annual maximum value method; l-moment method; design flood for small watershed; mountain flood prevention and control; urban flood control and drainage

1 研究背景

暴雨灾害是我国目前面临的最主要的气象灾害之一,由其引发的山洪、滑坡、泥石流、水土流失和内涝等灾害,严重威胁着人民的生命财产安全。针对暴雨的相关研究一直是国内外水文和气象领域的研究重点,其研究成果对我国的防洪减灾工作有重大意义。对于暴雨统计特性的研究可以揭示其在时间上的变化规律,其中选择反映地区暴雨特性的暴雨频率分布是得到准确合理的设计暴雨的首要条件,在工程实践中起着至关重要的作用,特别是对于短历时暴雨频率分布的选择更是研究的重点。

我国幅员辽阔,气候和地形条件复杂,各地在工程实践中对于暴雨频率分布的选择无法达成共识。李松仕[1]在早期研究中指出,皮尔逊Ⅲ型分布弹性较大,适用于我国南北方大部分地区;邓培德[2]在对全国 10 个代表站的暴雨资料进行拟合后,指出指数分布在暴雨量序列的拟合上效果要优于皮尔逊Ⅲ型分布;金光炎[3]认为广义极值分布在我国水文资料的拟合上具有良好的适应性,特别是其离均系数表对水文频率分析和各类统计计算有重要意义;蔡敏等[4]采用耿贝尔分布对我国东部降水量极值进行了拟合,效果理想,适用性强。大量科研工作者的研究表明,选择适宜当地情况的暴雨频率分布在各地工程实践中有着至关重要的作用。陕西省为洪涝灾害多发省份,由暴雨导致的洪涝灾害更是频繁发生,给人们的正常生活带来诸多不利影响,造成了巨大经济损失和资源浪费。针对陕西省短历时暴雨频率分布的研究可以为城市防洪、排涝规划以及相关工程设计的雨量计算提供参考,可以指导当地工程实践。

2 资料与方法

2.1 资 料

本文所用资料为陕西省气象信息中心提供的省内 18 个基准气象站和基本气象台站 1984—2013 年的实测暴雨资料,各气象台站基本情况见表 1,表 1 中前 11 个站点位于秦岭以北,后 7 个站点位于秦岭以南。针对实测资料中存在的个别时段缺测问题,直接移用邻近站点同年实测值进行插补。

表 1 分析依据站点基本情况

Table 1 Basic information of the meteorological stations

序号	站点名称	经度	纬度	高程/m
1	榆林	109°28′	38°09′	1 157.0
2	横山	109°08′	37°33′	1 111.0
3	定边	107°20′	37°21′	1 360.3
4	吴旗	108°05′	36°32′	1 331.4
5	绥德	110°07′	37°17′	929.7
6	延安	109°17′	36°21′	957.8
7	洛川	109°15′	35°27′	1 159.8
8	长武	107°28′	35°07′	1 206.5
9	宝鸡	107°04′	34°12′	612.4
10	西安	108°33′	34°10′	397.5
11	耀县	108°35′	34°33′	710.0
12	略阳	106°05′	33°11′	794.2
13	汉中	107°01′	33°02′	509.5
14	佛坪	107°35′	33°18′	827.2
15	石泉	108°09′	33°01′	484.9
16	镇安	109°05′	33°15′	693.7
17	安康	109°01′	32°25′	290.8
18	商县	109°34′	33°31′	742.2

2.2 研究方法

2.2.1 暴雨资料统计选样

现今国内常用的选样方法有年最大值选样法、超定额选样法和年超大值选样法。考虑到现阶段已有水文资料的积累已经满足研究需要,故采用年最大值选样法对各历时的暴雨资料进行选样,这不仅与国际上通用的暴雨资料选样方法相符,而且与频率及重现期的定义相吻合[5-6]。

2.2.2 备选频率分布

在前人研究的基础上,综合考虑短历时暴雨的特性和各频率分布的弹性、适应性等因素,选取水文统计上常用的皮尔逊Ⅲ型分布(Pearson Ⅲ distribution,P-Ⅲ)、广义极值分布(Generalized Extreme Value distribution,GEV)、耿贝尔分布(Gumbel distribution,Gumbel)、正态分布(Normal distribution,N)、指数分布(Exponential distribution,EXP)和两参数伽马分布(Gamma distribution,Gamma)作为本次研究的备选频率分布[7]。

2.2.3 参数估计

目前在水文统计上常采用的参数估计方法有矩法、极大似然法和概率权重矩法等。矩法是一种经典的参数估计方法,其构造估计量的原理和方法相

对简单,但其在进行高阶矩计算时会不可避免扩大自身误差;极大似然法是建立在极大似然原理基础上的一种统计方法,但其似然函数与分布本身有关,构造较为困难;Greenwood 等[8]在 1979 年提出的概率权重矩法被认为是一种有效的普适性很强的参数估计方法,在一定程度上改善了矩法和极大似然法在参数计算结果上的误差,但是在实践应用中发现该方法仍存在稳健性和不偏性不足的问题。

Hosking[9]于 1990 年进一步提出了线性矩的概念,定义次序统计量线性组合的期望值为线性矩,这是对概率权重矩的一种改进。线性矩法在参数估计上表现出了高稳健性和高精度的特点,特别是它对水文序列中的极大值和极小值远没有常规矩那么敏感,这在一定程度上解决了短历时暴雨量序列中存在的极大值问题。在实际应用时,线性矩法只需利用序列资料进行加减运算,大大降低了序列本身所存在的误差,也降低了常规矩法在计算偏态系数时利用三阶矩所产生的误差[10-12]。Wang[13]据此提出了针对离散序列线性矩的直接估算方法,使计算过程更为简捷,具体计算方法为

$$\begin{cases} l_1 = \dfrac{1}{C_n^1}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad , \\ l_2 = \dfrac{1}{2}\dfrac{1}{C_n^2}\sum_{i=1}^{n}(C_{i-1}^1 - C_{n-i}^1)x_i \quad , \\ l_3 = \dfrac{1}{3}\dfrac{1}{C_n^3}\sum_{i=1}^{n}(C_{i-1}^2 - 2^{i-1}C_{i-1}^1 C_{n-i}^1 + C_{n-i}^2)x_i , \\ l_4 = \dfrac{1}{4}\dfrac{1}{C_n^4}\sum_{i=1}^{n}(C_{i-1}^3 - 3^{i-1}C_{i-1}^2 C_{n-i}^1 + \\ \qquad 3^{i-1}C_{i-1}^1 C_{n-i}^2 - C_{n-i}^3)x_i \quad 。 \end{cases} \tag{1}$$

式中:x_i 为序列值,$i = 1,2,\cdots,n$,且 $x_1 \leqslant x_2 \leqslant \cdots \leqslant x_n$;$l_1, l_2, l_3, l_4$ 分别为序列的 1,2,3,4 阶线性矩;$C_n^k = \dfrac{n!}{k!\,(n-k)!}$,为从 n 个元素中取 k 个元素的组合数,当 $k > n$ 时,$C_n^k = 0$。为了更好地描述序列数据的统计特征,类似于常规矩中的离差系数 C_v 和偏态系数 C_s,线性矩中定义 L-$C_v = \tau_2 = l_2/l_1$ 为序列的线性离差系数,L-$C_s = \tau_3 = l_3/l_2$ 为序列的线性偏态系数,分别用来反映序列的离散程度和偏态情况。

在线性矩已知情况下,可以通过各序列的线性矩及其线性矩系数对各备选频率分布的参数进行计算,具体计算方法详见文献[14]。

2.2.4　优选指标

2.2.4.1　确定性系数(QD)

QD 是用来描述实测值与假设分布理论值拟合程度的统计特征量。QD 值越接近于 1,证明实测数据与对应分布的理论值线性关系越强,拟合程度越好。QD 值计算简便,敏感性较好,是频率分布优选中最常用的方法之一。其计算方法为

$$\mathrm{QD} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{op}} - x_{\mathrm{cp}})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{op}} - \bar{x}_{\mathrm{op}})^2} \quad 。 \tag{2}$$

式中:x_{op}为对应频率下的实测值;$\bar{x}_{\mathrm{op}}$为实测序列的数学期望;x_{cp}为假设理论分布相应频率下的理论计算值;$\bar{x}_{\mathrm{cp}}$为理论序列的数学期望。

2.2.4.2　误差平方和(RMSE)

RMSE 即观测值与假设分布理论值的均方根误差,以其结果最小来判定最优分布。RMSE 对 2 组数据的特大或特小误差反应非常敏感,在频率分布优选中的应用十分广泛[15]。其计算方法为

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{op}} - x_{\mathrm{cp}})^2} \quad 。 \tag{3}$$

2.2.4.3　概率点据相关系数 r(PPCC)

PPCC 是根据排序后的实测序列和经验频率推求出假设分布对应的期望值,然后得出 2 组序列的相关系数 r。类似于确定性系数,r 值越接近 1,2 组序列线性关系越强,拟合效果越好。其计算方法为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{op}} - \bar{x}_{\mathrm{op}})(x_{\mathrm{cp}} - \bar{x}_{\mathrm{cp}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{op}} - \bar{x}_{\mathrm{op}})^2 \sum_{i=1}^{n}(x_{\mathrm{cp}} - \bar{x}_{\mathrm{cp}})^2}} \quad 。 \tag{4}$$

3　实例研究

3.1　线性矩系数时空变化

对各分析站点采用年最大值选样法分别选取了 10,30,60,90,120 min 共 5 个历时的暴雨量序列,利用线性矩法估计的各暴雨量序列线性矩系数结果见表 2。

各站点暴雨量序列的均值随着历时增加呈增加趋势,但增幅逐渐下降,即暴雨强度随历时增加呈明显降低趋势;而在空间上,各站点暴雨量序列均值离散程度随历时增加呈递增趋势,通过空间插值方法绘制 5 个短历时暴雨量均值等值线图,发现各历时暴雨量序列均值自西向东均存在逐渐增大趋势,暴雨量较大区域集中在耀县、佛坪和石泉附近,较小的区域集中在横山、宝鸡和西安附近。限于篇幅,本文仅给出 90 min 暴雨量序列均值等值线图,见图 1(a)。

表 2 研究区各暴雨量序列线性矩系数

Table 2 Values of linear moment coefficient of each rainstorm sequence

站点	10 min			30 min			60 min			90 min			120 min		
	Ex	L-C_v	L-C_s	*Ex*	L-C_v	L-C_s	*Ex*	L-C_v	L-C_s	*Ex*	L-C_v	L-C_s	*Ex*	L-C_v	L-C_s
榆林	14.15	0.186	0.018	24.19	0.225	0.117	29.72	0.238	0.144	32.76	0.252	0.192	35.72	0.252	0.211
定边	9.96	0.278	0.348	16.29	0.264	0.330	20.50	0.258	0.235	23.11	0.246	0.185	25.91	0.238	0.169
横山	12.75	0.233	0.088	21.22	0.260	0.263	25.03	0.267	0.308	27.60	0.249	0.350	29.33	0.243	0.341
绥德	12.53	0.195	0.169	19.59	0.219	0.268	24.00	0.212	0.206	27.54	0.244	0.245	29.51	0.233	0.207
吴起	12.23	0.161	0.143	20.89	0.168	−0.042	26.24	0.177	0.107	29.40	0.186	0.116	31.53	0.193	0.187
延安	12.91	0.180	0.155	22.74	0.208	0.195	28.73	0.224	0.244	32.47	0.230	0.292	35.11	0.241	0.313
洛川	13.12	0.181	0.095	22.26	0.226	0.164	27.71	0.219	0.228	34.64	0.205	0.172	34.68	0.198	0.171
长武	13.03	0.201	0.211	23.58	0.214	0.081	30.51	0.246	0.186	34.28	0.258	0.226	37.01	0.262	0.236
宝鸡	9.41	0.228	0.152	17.26	0.279	0.262	22.16	0.255	0.198	24.71	0.239	0.210	26.82	0.214	0.218
西安	10.46	0.249	0.109	19.60	0.305	0.177	25.89	0.313	0.270	29.04	0.298	0.290	31.10	0.280	0.311
耀县	14.25	0.237	0.075	25.49	0.278	0.131	31.79	0.269	0.113	35.54	0.268	0.150	37.51	0.254	0.142
略阳	12.58	0.181	0.156	22.39	0.176	0.067	29.02	0.202	0.194	33.81	0.210	0.195	37.57	0.203	0.174
汉中	12.72	0.178	0.239	22.40	0.230	0.234	29.03	0.253	0.223	34.06	0.262	0.273	37.31	0.258	0.281
佛坪	13.74	0.146	0.135	24.37	0.165	0.075	31.93	0.209	0.172	36.98	0.234	0.298	40.01	0.236	0.346
石泉	13.95	0.198	0.242	26.88	0.222	0.269	34.46	0.222	0.348	39.23	0.224	0.336	41.06	0.213	0.324
镇安	12.68	0.179	0.053	22.51	0.175	0.039	28.65	0.198	0.209	32.81	0.202	0.239	35.49	0.190	0.209
安康	12.43	0.220	0.114	22.90	0.225	0.090	30.16	0.262	0.226	34.25	0.251	0.253	37.86	0.246	0.272
商县	12.68	0.235	0.111	22.26	0.249	0.249	28.41	0.243	0.158	32.00	0.261	0.223	35.09	0.267	0.226

各站点暴雨量序列线性离差系数 L-C_v 值在 10~30 min 内随历时的增加呈现出增加趋势;30~90 min 内有 10 个站点呈增加趋势,5 个站点呈减少趋势;90~120 min 时,有 13 个站点的 L-C_v 值呈减少趋势,5 个站点呈增加趋势;从 5 个历时看,有 12 个站点总体呈增加趋势。在空间上,各站点暴雨量序列 L-C_v 值的离散程度随历时增加呈递减趋势,区域一致性增强;同时 L-C_v 等值线图表现出秦岭以北自西向东呈递减趋势,秦岭以南则呈现出中部高、东西低的态势,见图 1(b)。

各站点暴雨量序列线性偏态系数 L-C_s 值在 10~120 min 有 3 个站点呈增加趋势,1 个站点呈下降趋势,4 个站点呈先增加后降低趋势,5 个站点呈先减少后增加趋势,另有 5 个站点变化趋势不明显,可见各站点暴雨量序列线性偏态系数 L-C_s 值随历时变化无统一趋势。在空间上,各站点暴雨量序列 L-C_s 值的离散程度随历时增加呈递减趋势,区域一致性增强;同时 L-C_s 等值线图反映出秦岭以北自西向东呈递减趋势,秦岭以南则呈现出中部高、东西低的态势,与 L-C_v 值趋势一致,见图 1(c)。

3.2 频率分布优选

通过暴雨量序列的线性矩和线性矩系数计算各

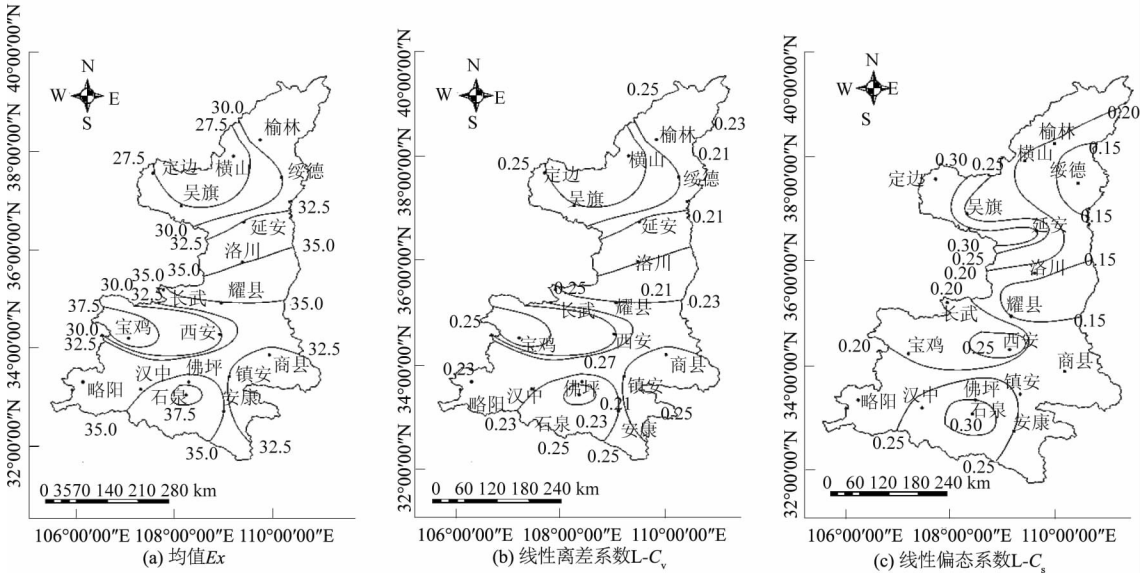


图 1 研究区暴雨量序列线性矩系数等值线图(历时 t=90 min)

Fig.1 Contours of linear moment coefficient of rainstorm sequences(t=90 min)

备选频率分布的参数。分别采用 QD,RMSE 和 r 为指标对各暴雨量序列的最优频率分布进行选取。对结果进行分析发现,3 种优选指标在最优频率分布的选择结果上完全一致,进一步证明了优选结果的可靠性。不同历时暴雨量序列中,各备选频率分布为最优分布的占比如表 3 所示。

表 3　研究区各历时暴雨量序列最优频率分布统计

Table 3　Statistics of optimal frequency distribution of rainstorm sequences of different durations

最优频率分布	各历时暴雨量序列最优频率分布占比/%					
	10 min	30 min	60 min	90 min	120 min	全历时
P-Ⅲ	61.1	72.2	94.4	88.8	88.8	81.1
GEV	27.8	5.6	5.6	5.6	5.6	10.0
Gamma	11.1	22.2	0.0	5.6	5.6	8.9

由表 3 可知,在 10 min 的序列中,最优分布为 P-Ⅲ分布的序列占总序列组数的61.1%,GEV 分布占27.8%,Gamma 分布占11.1%;在 30 min 的序列中,最优分布为 P-Ⅲ分布的序列占总序列组数的72.2%,GEV 分布占5.6%,Gamma 分布占22.2%;在60 min 样本中,最优分布为 P-Ⅲ分布的序列占总序列组数的94.4%,GEV 分布占5.6%;90 min 和 120 min 的序列中,最优分布为 P-Ⅲ分布的序列占总序列组数的88.8%,GEV 和 Gamma 分布各占5.6%。随着历时的增加,最优分布为 P-Ⅲ分布的比重逐渐增加。对全部历时序列而言,最优分布为 P-Ⅲ分布的序列占总序列组数的81.1%, GEV 分布占 10%, Gamma 分布占8.9%。

在优选指标的基础上,结合计算暴雨量和实测暴雨量相关图,可以更形象地反映各备选频率分布拟合情况。如图 2 所示,各备频率选分布中整体拟合效果最优的为 P-Ⅲ分布;Gamma 分布的拟合效果仅次于前者的拟合效果,且 2 种分布拟合效果相差不大;相对于前 2 种分布,GEV 和 N 分布的整体拟合效果有明显劣势;Gumbel 和 EXP 分布的整体拟合效果最差,二者计算暴雨量均要低于实测值,特别是 Gumbel 分布的计算值中出现了大量负值,有悖暴雨的物理机制,不能予以采用。

在研究中发现,部分以 P-Ⅲ分布为最优频率分布的序列中会出现其位置参数 a_0 为负数的情况,这与暴雨的物理机制不相符,但这些序列的第二优势分布均为 Gamma 分布。在学术和工程实践中如果遇到上述情况,通常采用的方法是将其位置参数 a_0 认定为 0,并采用两参数的 Gamma 分布作为该序列的最优频率分布。Gamma 分布可以看作是位置参数为 0 的特殊的 P-Ⅲ分布,二者在概率密度函数上基本一致,属于一类分布。如表 4 所示,以 P-Ⅲ分布(包含 Gamma 分布)为最优分布的序列为 81 组,占到总序列组数的 90.0%,且通过比较发现以 GEV 分布为最优分布的序

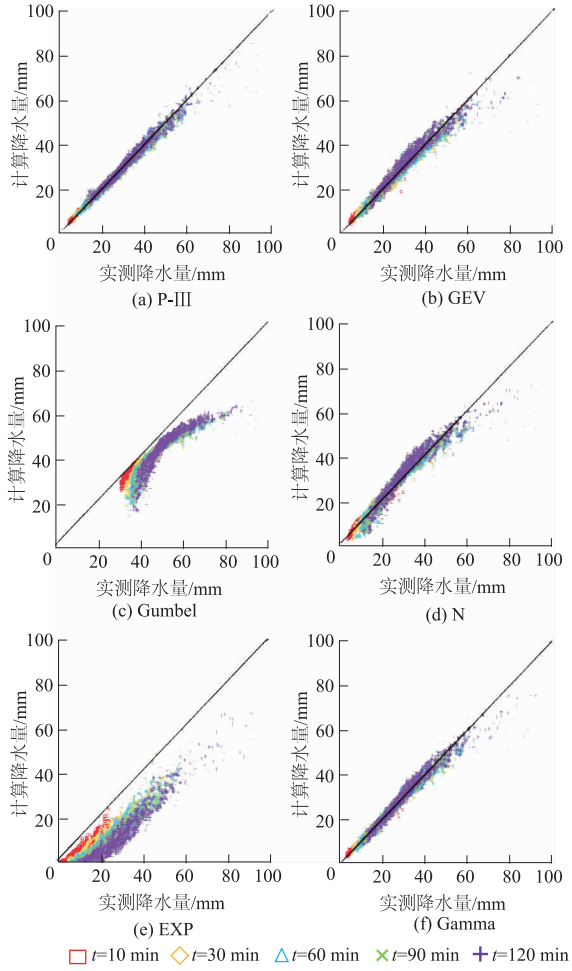


图 2　实测暴雨量与各备选分布计算暴雨量相关图

Fig.2　Correlation between measured rainfall and calculated rainfall of alternative distributions

表 4　各站点暴雨量序列最优频率分布统计

Table 4　Statistics of optimal frequency distribution for rainstorm sequence at each station

站点	各历时暴雨量序列最优频率分布				
	10 min	30 min	60 min	90 min	120 min
榆林	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ(Gam)	GEV	P-Ⅲ	P-Ⅲ
定边	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
横山	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
绥德	GEV	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
吴起	P-Ⅲ	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
延安	GEV	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
洛川	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	GEV	GEV
长武	P-Ⅲ	GEV	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
宝鸡	GEV	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
西安	GEV	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
耀县	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ(Gam)	Gamma	Gamma
略阳	GEV	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
汉中	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
佛坪	P-Ⅲ	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
石泉	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
镇安	P-Ⅲ(Gam)	Gamma	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
安康	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ
商县	P-Ⅲ(Gam)	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ	P-Ⅲ

注:P-Ⅲ(Gam)对应序列的最优频率分布为 P-Ⅲ分布(位置参数为负),第二优势分布为 Gamma 分布

列中,P-Ⅲ或 Gamma 分布的拟合效果与 GEV 分布的拟合效果相差甚微。综上考虑,认定 P-Ⅲ分布(Gamma 分布)为研究区短历时暴雨的理论频率分布。

4 结 论

(1)研究区各站点暴雨量序列期望随历时增加呈增长趋势,但其增幅逐渐降低;暴雨强度随历时下降明显,但下降幅度逐渐降低;同历时各站点暴雨量序列均值和平均暴雨强度自西向东均呈逐渐增加趋势。

(2)研究区 18 个分析站点中有 12 个站点的暴雨量序列线性离差系数 L-C_v 随历时增加整体呈增长趋势,但增幅逐渐降低;各站点暴雨量序列 L-C_v 离散程度随历时增加不断减小,区域一致性增强;秦岭以北 L-C_v 值自西向东呈递减趋势,秦岭以南 L-C_v 值则呈现出中部高、东西低的态势。

(3)研究区各站点暴雨量序列线性偏态系数 L-C_s值随历时变化无统一趋势;各站点暴雨量序列 L-C_s的离散程度随历时增加不断减小,区域一致性增强;秦岭以北 L-C_s 值自西向东呈递减趋势,秦岭以南 L-C_s 值则呈现出中部高、东西低的态势,与 L-C_v值趋势一致。

(4)以 P-Ⅲ分布(包含 Gamma 分布)为最优分布的暴雨量序列为 81 组,占总序列组数的90.0%,可作为研究区短历时暴雨的理论频率分布。

参考文献:

[1] 李松仕.几种频率分布线型对我国洪水资料适应性的研究[J].水文,1984(1):1-7.

[2] 邓培德.城市暴雨公式统计中若干问题[J].中国给水排水,1992,18(2):45-48.

[3] 金光炎.广义极值分布及其在水文中的应用[J].水文,1998(2):9-15.

[4] 蔡 敏,丁裕国,江志红,等.我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J].高原气象,2007,26(2): 309-318.

[5] 周黔生.暴雨选样采用年最大值法更实用[J].给水排水,1995,21(6):14-14.

[6] 邓培德.暴雨选样与频率分布模型及其应用[J].给水排水,1996,22(2):5-9.

[7] MAIDMENT D R. 水文学手册[M]. 张建云,译.北京:科学出版社,2002.

[8] GREENWOOD J A,LANDWEHR J M,MATALAS N C,*et al*. Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse form[J]. Water Resources Research, 1979, 15(5):1049-1054.

[9] HOSKING J R M . L-moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics [J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1990, 52(1):105-124.

[10] 熊立华, 郭生练. L—矩在区域洪水频率分析中的应用[J].水力发电,2003,29(3):6-8.

[11] 梁玉音,刘曙光,钟桂辉,等.线性矩法与常规矩法对太湖流域降雨频率分析的比较研究[J].水文, 2013, 33(4):16-21.

[12] 李松仕.关于线性矩法与概率权矩法同解关系的分析研究[J].水文,2004,24(3):30-32.

[13] WANG Q J . Direct Sample Estimators of L-moments[J]. Water Resources Research ,1996,32(12):3617-3619.

[14] HOSKING J R M, WALLIS J R. Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments[M]. Cambridge:Cambridge University Press,1997.

[15] 陈元芳,李兴凯.暴雨频率分布线型优选方法的研究[J].水文,2010,30(2):50-53.

(编辑:刘运飞)

长江科学院武汉长江仪器自动化研究所有限公司研发的“一种自来水加氯控制方法和系统”获国家发明专利

由长江科学院武汉长江仪器自动化研究所有限公司研发的“一种自来水加氯控制方法和系统”2019 年 6 月 11 日获中华人民共和国知识产权局颁发的发明专利证书。

加氯消毒是当前自来水处理所采用的重要工艺措施,水处理加氯工艺通常有前加氯、库加氯和补加氯。持续加氯主要作用是杀灭水中的微生物、细菌、氧化有机物及延长加氯消毒的接触时间,同时起到助絮凝、助过滤作用。氯消毒的效果与水温、pH 值、接触时间、混合程度、水浊度以及所含干扰物质、有效氯浓度等因素有关。目前国内多采用人工模拟投加方式,只有在工艺环境比较稳定的条件下才能保证出水水质。

“一种自来水加氯控制方法和系统”对各环境参数进行实时检测与分析,采用智能投加策略,对加氯量进行精确计算和控制,从而更好地保证了出厂水水质。

该专利技术可广泛应用于市政水厂和农村中小型水厂,经济效益和社会效益较好,目前正在大力推广。

(摘自:长江水利科技网)