

邵月红¹ 刘玲¹ 吴俊梅² 徐睿敏¹ 吴丁超¹ 丁颖¹

淮河流域极值降水的统计参数特征及在水文频率分析中的意义

摘要

以淮河流域为研究区域,利用线性矩精确求解极值降水统计特征值,为极值降水频率估计值的计算提供理论基础和依据。主要结果表明:淮河流域各站点的年最大日降雨量(Annual Maximum Precipitation, AMP)的均值和离差范围分别为 92.79 ~ 130.28 mm 和 0.193 ~ 0.266;各站点的 AMP 分布都为右偏分布,即至少有一半以上的 AMP 值是小于平均值的,有少数的 AMP 值远大于平均值,且对平均值的影响较大;各站点的分布相对于正态分布而言,都属于尖峰厚尾。极值降水统计特征值的空间分布表明:大值主要分布在流域的西南山区和东部丘陵地带,即这些地方具有更多更强的 AMP 极值。极值降水统计参数不仅能够反映 AMP 的一般平均水平和年际 AMP 的波动情况,还能更好地掌握 AMP 的两端分布情况,特别是尾端的暴雨极值。因此分析极值降水统计参数可以给洪涝灾害提供很好的指导。

关键词

线性矩法;极值降水;统计参数;频率分析

中图分类号 P333

文献标志码 A

收稿日期 2016-03-10

资助项目 江苏省高校大学生创新训练项目(201510300025);江苏省自然科学基金(BK20141001);淮河流域气象开放研究基金(HRM201502);江苏省气象局青年科研基金

作者简介

邵月红,女,博士,讲师,研究方向为水文统计、水文气象及其应用.syh@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 水文气象学院,南京,210044

2 江苏昆山市气象局,昆山,215300

0 引言

近年来我国许多区域的极端灾害事件特别是暴雨显著增多,由降雨引发的洪水风险给社会发展带来了严峻的挑战^[1]。作为中国 10 大流域之一的淮河流域,位于南北气候过渡带,降水时空分布不均、洪涝灾害频发,因此研究该区域的极值降水的变化及统计概率特征对于水资源的合理应用和洪涝灾害的防治有着重要的指导作用^[2]。降水本身是一个随机变量,极值降水可看作是这一随机变量的某种函数,分布函数能够很好地描述极值降水的统计特性。但对一个具体的随机变量,要确定它的分布函数往往是很困难的。不过在实际问题中,我们可以借用统计推断的手段寻求极值降水的分布模型,推算一定重现期的可能极值,揭示其内在规律^[3],根据统计特征值与频率分布中的参数关系来进行参数估计,从而确定分布函数。因此,准确求解极值降水的统计特征值是非常关键的一步。国内一些学者对暴雨统计参数的特征进行了研究^[4-6]。计算统计参数主要采用的是约束准则适线法与多历时目估综合适线法相结合的方法,适线法的优点是不受频率曲线线型的限制,还可以照顾分析计算中的一些重要的点据,但其经验性、主观性、任意性较大,对计算者本身的要求较高。国内外学者应用线性矩进行了大量的频率曲线参数估计研究,结果认为线性矩比常规矩法更稳健,比极大似然法的估计值有效性更好,比概率权重矩更直观、方便,其良好的不偏性和对特大值的稳健性能,同时与分布参数直观、简便的关系式使得线性矩在水文频率分布参数估计得到了广泛的应用,并取得了很好的结果,它被认为是目前洪水频率分析中参数估计的最新方法之一,也是最优的^[7-10]。本文以淮河流域为研究区域,利用线性矩求解极值降水的几个关键特征值,即反映极值降水取值集中位置的数学期望、反映取值相对于分布中心的集中程度的离差系数和反映概率分布形态特性的偏态系数及峰度系数,在此基础上,进一步分析极值降水统计参数的空间分布特征,为频率分布和不同重现期下频率估计值的确定提供理论基础数据和科学依据。

1 研究区域及方法介绍

1.1 流域概括及资料情况

研究区域为淮河流域,介于长江和黄河两流域之间,位于 111°55' ~

121°25'E、30°55'~36°36'N,面积为27万km².淮河流域处于我国南北气候过渡带,属暖温带半湿润季风气候区.其特点是:冬春干旱少雨,夏秋闷热多雨,冷暖和旱涝转变急剧.地形起伏较大,淮河流域西部、西南部及东北部为山区、丘陵区,其余为广阔的平原.山区与平原面积比约为1:2.根据多年资料统计,流域内多年平均气温为11~16℃、多年平均水面蒸发量为900~1500mm,多年平均降雨量920mm,降雨量50%~80%集中在6—9月.降雨年际变化大,丰水年的雨量多达枯水年的5倍;地区分布也不均匀,北部沿黄地区平均年降雨量为600~700mm,南部及西部山区平均年降雨量为900~1400mm.淮河流域的暴雨集中在6—9月,西南低涡沿着切变线不断东移是造成淮河流域连续暴雨的主要原因.本文使用的降水数据源于全国753个气象观测站1951—2010年间的逐日降水资料.通过质量控制,提取出淮河流域的站点序列长度大于20a的30个站点的年最大日降水数据,站点的分布及流域水系地形分布如图1所示,站点的基本资料概况如表1所示.由图1和表1可知:降雨跟地形有很大的关系,在海拔较高的山区,降雨量一般也较大.比

如,流域东南部的山区沂源站,流域西南部的山区霍山站、六安站和信阳站,年降雨量都在1100mm以上;AMP(年最大日降雨量)序列长度在43~61a,平均长度为57a,样本能够满足统计分析的要求,具有较好的代表性和可靠性.AMP序列中的最大极值降雨为420.4mm,位于驻马店站.

1.2 基于线性矩方法推求极值降水统计参数

1990年Hosking在前人研究工作的基础上,将线性矩(Linear Moment, L-M)定义为次序统计量线性组合的期望值,其r阶线性矩λ_r的通式表达如式(1)所示.由于线性矩在参数估计时表现出良好的不偏性和对特大值的稳健性能,在水文频率计算中得到了广泛的应用,显示出越来越强大的生命力^[11-12].

设 $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq X_{3:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$ 为样本容量为n的随机系列的次序统计量,定义变量X的r阶线性矩通式^[13]表达如下:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} EX_{r-k:r}, \quad r = 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中,EX_{r-k:r}为样本容量为n、排在第r-k位的次序统计量的期望值.

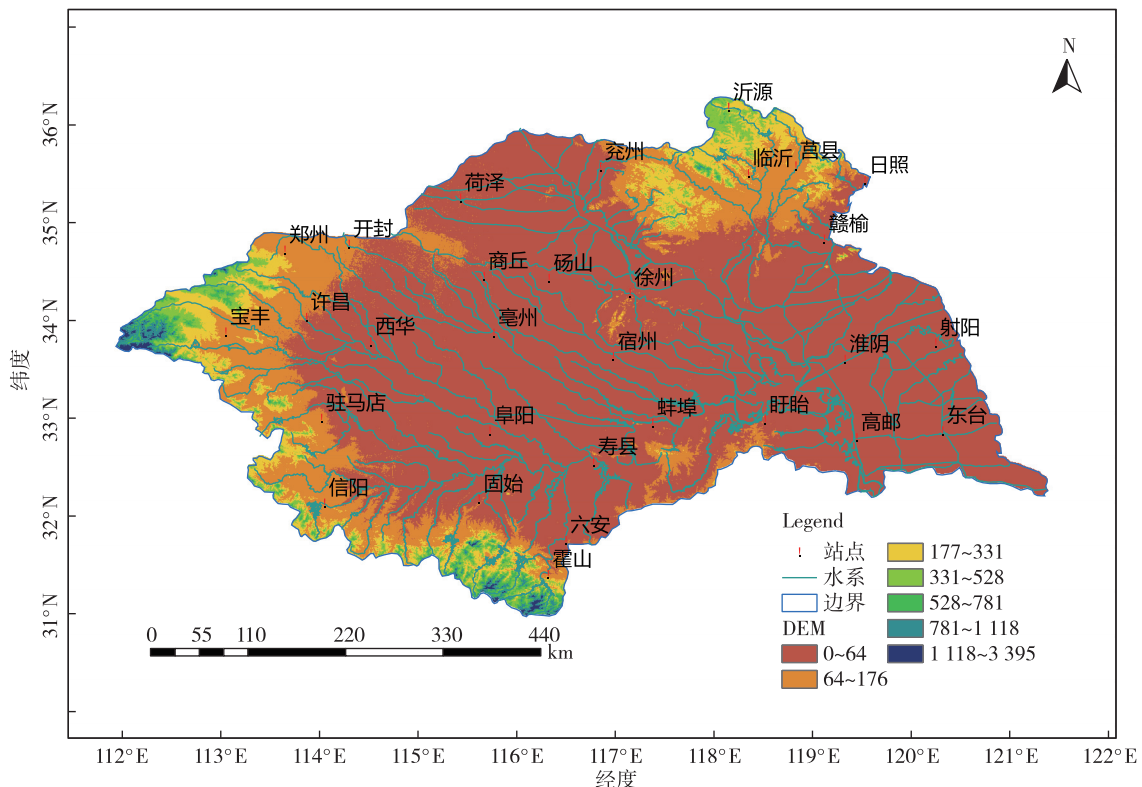


图1 淮河流域站点及水系地形分布

Fig. 1 Spatial map of meteorological stations and streams in the Huaihe river basin

表 1 淮河流域站点基本概况

Table 1 List of 30 precipitation gauges and associated facts in the Huaihe river basin

站名	站点代码	AMP 序列长度/a	经度/(°)	纬度/(°)	海拔高度/m	多年平均降雨量/mm	AMP 最大降雨量/mm
沂源	54836	54	118.15	36.18	305	1 500	222.9
莒县	54936	60	118.83	35.58	107	750	298.8
临沂	54938	49	118.35	35.50	87	849	277.8
日照	54945	57	119.53	35.43	36	874	219.2
赣榆	58040	55	119.12	34.83	3	977	219.9
菏泽	54906	43	115.43	35.25	49	700	223.1
兖州	54916	61	116.85	35.57	51	733	191.3
郑州	57083	61	113.65	34.72	110	641	189.4
开封	57091	61	114.30	34.78	73	628	217.8
许昌	57089	60	113.87	34.03	66	700	177.2
西华	57193	58	114.52	33.78	52	750	225.4
驻马店	57290	54	114.02	33.00	82	915	420.4
宝丰	57181	55	113.05	33.88	136	770	288.8
信阳	57297	61	114.05	32.13	114	1 150	276.2
六安	58311	57	116.50	31.75	60	1 250	250.0
霍山	58314	58	116.32	31.40	68	1 400	314.6
阜阳	58203	59	115.73	32.87	32	885	226.1
固始	58208	60	115.62	32.17	42	1 066	206.9
寿县	58215	57	116.78	32.55	22	900	259.6
商丘	58005	59	115.67	34.45	50	623	193.3
砀山	58015	58	116.33	34.43	44	743	229.0
徐州	58027	52	117.15	34.28	41	865	315.4
亳州	58102	59	115.77	33.87	37	831	285.3
宿州	58122	60	116.98	33.63	25	835	221.6
蚌埠	58221	61	117.38	32.95	18	905	216.7
盱眙	58138	55	118.52	32.98	40	1 005	233.2
淮阴	58144	50	119.33	33.60	17	916	207.9
射阳	58150	58	120.25	33.77	2	1 000	263.2
高邮	58241	58	119.45	32.80	5	1 030	211.6
东台	58251	59	120.32	32.87	4	1 055	314.3

在参数估计实践中,一般仅用到前 4 阶样本线性矩^[13],可表示为

$$l_1 = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_{i;n},$$

$$l_2 = \frac{1}{2} \binom{n}{2}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{j=1}^{n-1} (x_{i;n} - x_{j;n}),$$

$$l_3 = \frac{1}{3} \binom{n}{3}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{l=j=k+1}^{n-1} \sum_{k=1}^{n-2} (x_{i;n} - 2x_{j;n} + x_{k;n}),$$

$$l_4 = \frac{1}{4} \binom{n}{4}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{l=j=k+1}^{n-1} \sum_{l=1}^{n-3} \sum_{l=1}^{n-3} (x_{i;n} - 3x_{j;n} + 3x_{k;n} - x_{l;n}).$$

(2)

为了更好地描述分布曲线的统计特征,与常规

矩法类似,将样本 L-M 系数^[14]定义如下:

- 1) 样本线性离差系数 (Linear Coefficient of Deviation, $C_{d,1}$): $C_{d,1} = l_2/l_1$;
- 2) 样本线性偏态系数 (Linear Coefficient of Skewness, $C_{s,1}$): $C_{s,1} = l_3/l_2$;
- 3) 样本线性峰度系数 (Linear Coefficient of Kurtosis, $C_{k,1}$): $C_{k,1} = l_4/l_2$.

2 结果分析

2.1 站点极值降水统计参数的分析

极值降水统计参数(特征值)是计算频率分布曲线和频率估计值的前提和基础,因此,准确求解和分

析统计特征值是非常关键的一步.利用站点的 AMP 序列,基于无偏性和稳健性较好的线性矩求解极值降水统计参数,其结果如表 2 所示.平均数是常用的统计指标之一,用以说明它对 AMP 总体一般情况的代表程度.由表 2 可知:淮河流域各站点的 AMP 均值范围为 92.79~130.28 mm,其平均值为 110.18 mm,达到了气象上定义的“大暴雨”级别.由于均值是反映总体一般水平的指标,具有掩盖总体内每年 AMP 标志值差异的缺点,因此,为了弥补其不足,需要计算标志变异程度的指标 $C_{d,1}$,淮河流域各站点的 AMP 离差范围为 0.193~0.266,离差最大值位于驻马店站,与表 1 中的 AMP 序列中的最大极值降雨 420.4 mm 一致,说明驻马店站 AMP 序列中,每年的 AMP 对其平均值差异的平均离散程度最大;高邮站的平均离散程度最小.从图 2 的驻马店和高邮站的 AMP 距平也可以看出:驻马店 AMP 离散程度明显大于高邮站的离散程度. $C_{d,1}$ 能够很好地反映 AMP 序列中各个标志值的离散程度大小,但不能反映出 AMP 总体中在其平均水平上下的每年 AMP 次数分布状况的特征.

对总体中各 AMP 标志值次数分布特征的研究分析,将有利于深入掌握总体 AMP 分布的本质特征. $C_{s,1}$ 能够很好地反映 AMP 次数分布特征.由表 2 得知, $C_{s,1}$ 的范围为 0.08~0.35,平均为 0.224,所有站点的 $C_{s,1}$ 都大于 0,即属于长尾拖在右边的正偏分布,表明各个站点中,AMP 总体中低于平均值的次数分布比较集中,至少一半以上的 AMP 值是小于平

均值的,有少数的 AMP 标志值会较大地超出其平均值,并且对平均值的影响较大,特别是临沂站, $C_{s,1}$ 最大为 0.35,表示其偏态剧烈程度最大.由图 2c 距平也可以看出:在临沂站 47 a 的 AMP 序列中,小于平均值的年份有 32 a,占到总序列长度的 70%左右,1974 年和 1993 年的 AMP 距平分别为 153.41 和 173.51 mm,远超过了其平均值,对平均值的影响较大,造成其偏态剧烈程度增强.同理可看出,在高邮站, $C_{s,1}$ 较小为 0.08,即微弱的正偏,60 a 的 AMP 序列中,小于平均值的年份有 32 a,约占总序列的一半,极值降水序列中的最大值也远小于临沂站的最大值,因此其分布的偏态也较小. $C_{s,1}$ 的大小从另一个角度也反映了序列中极值降雨的强度和数量多少. $C_{k,1}$ 描述了 AMP 分布形态峰面的陡峭缓和程度.由表 2 可知: $C_{k,1}$ 都是大于 0 的,其范围为 0.103~0.312,相对于正态分布来说,峰面更加陡峭,特别是在徐州站,AMP 序列值更加集中,尖峰厚尾更明显,即有更多更大的极值降雨.

2.2 极值降水统计参数的空间分布特征

图 3 给出了淮河流域极值降水统计参数的空间分布.由图 3a 的均值分布可以看出:淮河流域的 AMP 序列中,年最大日降雨量的平均值范围为 81.73~130.22 mm,大的极值主要分布在流域的西南山区和东部丘陵地带,在流域的西北部和北部的极值降雨的强度相对较小.图 3b 的离差系数表明:以宝丰、驻马店为中心的流域西部和以莒县、射阳为

表 2 淮河流域暴雨统计参数计算结果

Table 2 Results of statistical parameters of extreme precipitation in Huaihe river basin

站名	均值/ mm	离差 系数	偏态 系数	峰度 系数	站名	均值/ mm	离差 系数	偏态 系数	峰度 系数
沂源	93.52	0.220	0.189	0.171	霍山	115.85	0.241	0.315	0.255
莒县	113.31	0.254	0.284	0.226	阜阳	110.84	0.249	0.293	0.163
临沂	119.76	0.209	0.350	0.262	固始	115.10	0.227	0.145	0.104
日照	116.06	0.209	0.194	0.134	寿县	106.81	0.230	0.241	0.233
赣榆	130.28	0.208	0.110	0.103	商丘	98.98	0.222	0.150	0.195
菏泽	98.66	0.221	0.247	0.198	砀山	102.30	0.210	0.239	0.172
兖州	105.15	0.205	0.255	0.178	徐州	117.10	0.203	0.327	0.312
郑州	92.79	0.212	0.114	0.210	亳州	111.05	0.239	0.318	0.226
开封	100.06	0.252	0.217	0.143	宿州	114.84	0.236	0.245	0.113
许昌	94.33	0.223	0.160	0.136	蚌埠	107.37	0.196	0.080	0.190
西华	104.08	0.215	0.294	0.153	盱眙	116.04	0.238	0.233	0.150
驻马店	118.65	0.266	0.296	0.310	淮阴	122.38	0.210	0.132	0.123
宝丰	102.33	0.258	0.284	0.228	射阳	120.83	0.247	0.303	0.180
信阳	123.44	0.224	0.133	0.117	高邮	110.10	0.193	0.167	0.173
六安	103.99	0.216	0.120	0.191	东台	119.28	0.206	0.276	0.308

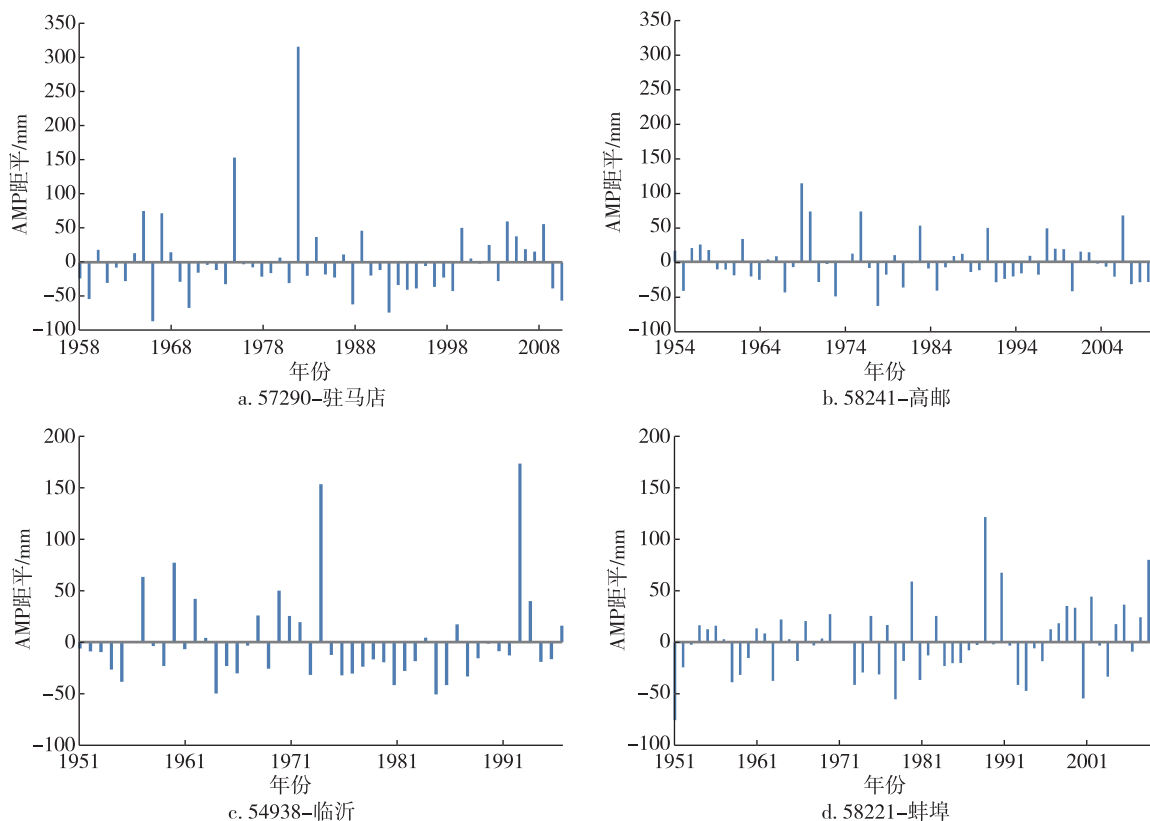


图2 4个代表站的AMP距平

Fig. 2 Statistics for AMP anomaly in four representative stations

中心的流域东部的AMP离散程度较大,即每年的年最大日降水量相对于均值而言波动较大,有较多的极大和极小值.国内外许多研究表明:偏态系数和峰度系数存在很好的正相关^[14-15].图3c和图3d的空间分布特征总体相似,偏态系数和峰度系数较大的值主要分布在以子流域出口的驻马店、西华、亳州、徐州和临沂站为中心的条带及流域西南和东南角上,即这些地方具有更多更强的AMP极值.由于极值降水事件的增加,导致洪涝灾害风险进一步加大,应该引起防洪决策和水资源管理部门的重视.极值降水统计参数可以简明直观地反映出各站点年最大日降雨量的分布特征、规律及空间分布特征,不仅能够反映AMP的一般平均水平和年际AMP的波动、差异情况,还能更好地了解 and 掌握AMP的两极分布情况,特别是尾端的极值降水是暴雨频率分析最值得关心的问题,因此计算和分析极值降水统计参数可以给洪涝灾害提供很好的指导.

3 结论与展望

极值降水统计参数(特征值)是计算频率分布曲线和频率估计值的前提和基础.本文以淮河流域

为研究区域,利用稳健性和无偏性都良好的线性矩求解极值降水统计特征值.主要结论如下:

1) 淮河流域各站点的AMP均值范围为92.79~130.28 mm,达到了气象上定义的“大暴雨”级别;淮河流域各站点的AMP离差变化不大,其范围为0.193~0.266,离散程度最大的站点位于河南的驻马店站;各站点的AMP分布都为右偏分布,其偏态系数的范围为0.08~0.35,各站点中至少有一半以上的AMP值是小于平均值的,并且分布比较集中,有少数的AMP值远大于平均值,且对平均值的影响较大;各站点的峰度系数的范围为0.103~0.312,相对于正态分布而言,都属于尖峰厚尾,即有更多更大的极值降雨.

2) 淮河流域AMP的平均值范围为81.73~130.22 mm,大的均值主要分布在流域的西南山区和东部丘陵地带,小的均值分布在流域的(西)北部;以宝丰、驻马店为中心的流域西部和以莒县、射阳为中心的流域东部的AMP离散程度较大;偏态系数和峰度系数的空间分布相似,较大的值主要分布在以子流域出口的驻马店、西华、亳州、徐州和临沂站为中心的条带上,即这些地方具有更多更强的AMP极

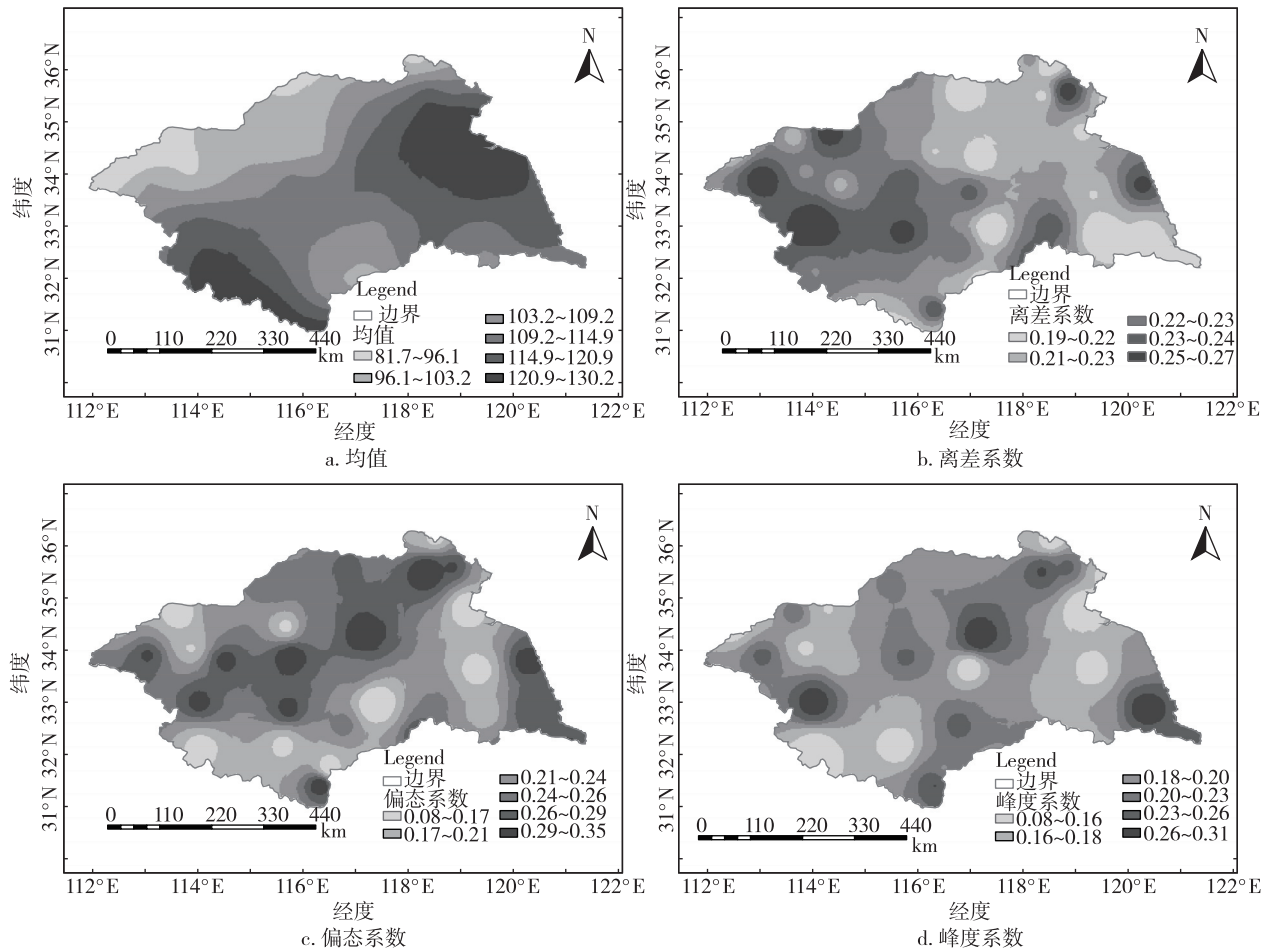


图3 淮河流域极值降水统计参数的空间分布特征

Fig. 3 Spatial distribution of mean, $C_{d,1}$, $C_{s,1}$ and $C_{k,1}$ for AMP in Huaihe river basin

值.由于极值降水事件的增加,导致洪涝灾害风险进一步加大,因此,这些地方应该引起防洪决策和水资源管理部门的重视.

3)本研究由于收集的资料有限,仅分析了年最大日降水量序列的统计参数特征和空间分布情况.资料的限制无法进行多历时下的统计参数的一致性及其相互协调综合分析.为了得到更加完善、时空一致的统计参数分布特征,还需要更多历时、更长时间和更多区域的数据资料来验证,以及更深层次的研究和分析.

参考文献

References

[1] 杨涛,陆桂华,李会会,等.气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J].水科学进展,2011,22(2):279-286
 YANG Tao, LU Guihua, LI Huihui, et al. Advances in the study of projection of climate change impacts on hydro-

logical extremes[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(2):279-286
 [2] 袁喆,杨志勇,郑晓东,等.近50年来淮河流域降水时空变化特征分析[J].南水北调与水利科技,2012,10(2):98-103
 YUAN Zhe, YANG Zhiyong, ZHENG Xiaodong, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe River Basin in recent 50 years[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2):98-103
 [3] 孙济良,秦大庸,孙翰光.水文气象统计通用模型[M].北京:中国水利水电出版社,2001
 SUN Jiliang, QIN Dayong, SUN Hanguang. The universal model of hydrometeorological statistics [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2001
 [4] 张建云,刘九夫,周国良.中国暴雨统计参数特征与规律研究[J].水利水电技术,2006,37(2):42-44
 ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, ZHOU Guoliang. Study on law and characteristics of statistical parameter of rainstorm in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2006, 37(2):42-44
 [5] 水利部水文局,南京水利科学研究所.中国暴雨统计参数图集[M].北京:中国水利水电出版社,2006

- Hydrology Bureau of the Ministry of Water Resources, Nanjing Hydraulic Research Institute. China storm statistic parameters atlas [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2006
- [6] 刘九夫.《中国暴雨统计参数图集》成果简介[J].水利水运工程学报, 2008(3):98-98
LIU Jiufu. The introduction of achievement on China storm statistic parameters atlas [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(3):98-98
- [7] 金光炎.矩、概率权重矩与线性矩的关系分析[J].水文, 2005, 25(5):1-6
JIN Guangyan. Analysis of relationship between moment, probability-weighted moment and linear-moment [J]. Journal of China hydrology, 2005, 25(5):1-6
- [8] Gubareva T S, Gartsman B I. Estimating distribution parameters of extreme hydrometeorological characteristics by L-moments method [J]. Water Resources, 2010, 37(4):437-445
- [9] 陈元芳, 王庆荣, 沙志贵, 等. 线性矩法在长江中下游区域水文频率计算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2003, 31(2):207-211
CHEN Yuanfang, WANG Qingrong, SHA Zhigui, et al. Application of L-moment based regional flood frequency analysis method to middle and lower Yangtze River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2003, 31(2):207-211
- [10] Delicado P, Goría M N. A small sample comparison of maximum likelihood, moments and L-moments methods for the asymmetric exponential power distribution [J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2008, 52(3):1661-1673
- [11] Shao Y H, Wu J M, Ye J Y, et al. Frequency analysis and its spatiotemporal characteristics of precipitation extreme events in China during 1951-2010 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2015, 121(3):775-787
- [12] 林炳章, 邵月红, 闫桂霞, 等. 水文气象促进工程水文计算核心课题研究的发展 [C] // 中国水文科技新发展: 2012 中国水文学术讨论会论文集, 2012: 50-63
LIN Bingzhang, SHAO Yuehong, YAN Guixia, et al. The core research on the development of engineering hydrology calculation promoted by hydrometeorology [C] // New Development of Hydrological Science and Technology: Proceedings of China Hydrology Symposium, 2012: 50-63
- [13] 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
- [14] Hosking J R M, Wallis J R. Regional frequency analysis: An approach based on L-moments [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1997
- [15] 林炳章, 邵月红, 杨秀芹, 等. 基于水文气象一致性地区分析的雨量频率估计方法: 中国, ZL 201210519196. 6 [P]. 2012-12-06
LIN Bingzhang, SHAO Yuehong, YANG Xiuqin, et al. A method of precipitation quantile estimation based on the regional analysis of hydrometeorological homogeneous region: China, ZL 201210519196. 6 [P]. 2012-12-06

Statistics parameters characteristics of precipitation extreme and its significance for hydrologic frequency analysis in Huaihe River basin

SHAO Yuehong¹ LIU Ling¹ WU Junmei² XU Zanmin¹ WU Dingchao¹ DING Ying¹

1 School of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Kunshan Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Kunshan 215300

Abstract Statistical characteristics of precipitation extreme are computed and analyzed by using L-moment method in Huaihe river basin in this paper, which can provide theoretical basis for frequency estimates. The results indicate that the mean and deviation of annual maximum precipitation (AMP) range from 92.79 mm to 130.28 mm, and 0.193 to 0.266, respectively. The AMP distribution of each site is right skewness, that is to say, more than half of the AMP values are less than the average, with only a few greater than the average value which have bigger influence on the average. Compared with normal distribution, the distribution of AMP from each site are rush peak and thick tail. The spatial distribution of statistical parameters show that the high values mainly distributed in the southwest mountain areas and eastern hills, which means AMP in these regions are more and stronger than that in other regions. Statistical parameters of precipitation extreme can not only reflect the general average and annual fluctuations of annual AMP, also grasp the ends of the AMP distribution, especially tail end of precipitation extreme. So, analysis of precipitation extreme parameters can provide good guidance for flood control.

Key words L-moment; precipitation extremes; statistical parameters; frequency analysis