

近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征

余敦先^{1,2}, 夏 军¹, 张永勇¹, 杜 鸿³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要:以淮河流域27个气象站点1960-2009年逐日降水观测资料为基础,选取年最大降水量序列(AM)和超门限峰值序列(POT),分析淮河流域年极端降水事件的时空变化趋势,研究淮河流域降水极值的统计特征。研究发现:过去50年,淮河流域大多数站点年最大日降水量有增加的趋势,少数站点有减少的趋势,但增加和减少的趋势均不明显。从单个气象站点50年降水序列来看,年最大日降水事件发生的时间大多集中于20世纪60-70年代,且以汛期居多。利用L-矩法、K-S检验等方法,发现GEV和GP分布分别能够较好的拟合AM和POT序列。通过计算比较在不同重现期水平下的降水量,发现POT序列及其对应的GP分布能够更好的模拟淮河流域极端降水序列。

关键词:淮河;极端降水;L-矩法;K-S检验

1 引言

在当前全球气候变暖背景下,洪水、干旱、台风、高温、低温以及雨雪冰冻等极端事件频发,灾害损失加剧,对社会稳定、经济发展和人民生活等影响十分严重。而极端事件频发与降水特别是极端强降水事件时空分布发生变异有着密切的关系^[1]。IPCC第四次评估报告指出,在多数陆地地区强降水事件的发生频率呈增加趋势^[2]。观测研究也表明,我国的极端强降水平均强度和极端强降水值都有增加的趋势,极端强降水事件也趋于增多^[3]。

近年来,对于极端降水事件的研究,尤其是关于极端事件时空变化分析和统计特征的研究已经引起越来越多学者的关注^[4-5]。例如,蔡敏等^[6]分析了我国东部极端降水时空的分布特征和概率特征,发现近50年来,我国东部极端降水趋势虽无明显变化,但时空差异较大。刘学峰等^[7]的研究表明海河流域降水的极值变化致使降水时空分布变得更加不均匀,使得海河流域干旱事件发生频率和强度增加。翟盘茂等^[8]通过对中国北方近50年的降水极端事件研究,认为华北地区的强降水事件趋于减少,但西北地区强降水事件趋于增多。苏布达等^[9]利用年最大强降水序列分析了长江流域147个气象站逐日降水资料,证明Wakeby分布函数能够较好的拟合该流域降水极值的概率分布。肖卉等^[10]针对江苏省内近40年的逐日降水资料,建立了最大降水的概率分布模式,认为皮尔逊III型分布模式能够较好的拟合该省大暴雨的分布特征。

很多研究都表明极端降水常常与洪涝灾害联系在一起,极端降水的频率和强度的变化,直接导致洪涝灾害的发生。受东亚季风活动影响,我国东部地区极易发生大范围洪涝灾害,尤以江淮流域最为突出^[6]。淮河流域地处我国南方雨量丰沛和北方干旱少雨的过渡地带,属

收稿日期: 2011-05-16; 修订日期: 2011-06-07

基金项目: 国家重点基础研究973项目(2010CB428406); 国家自然科学基金项目(41071025) [Foundation: National Basic Research Program of China, No.2010CB428406; National Natural Science Foundation of China, No.41071025]

作者简介: 余敦先,男,安徽芜湖人,博士生,主要从事气候变化和极端事件研究。E-mail: shedunxian@sina.com

通讯作者: 夏军(1954-),男,研究员,博士生导师,中国地理学会会员(S110001624M)。E-mail: xiaj@igsrr.ac.cn

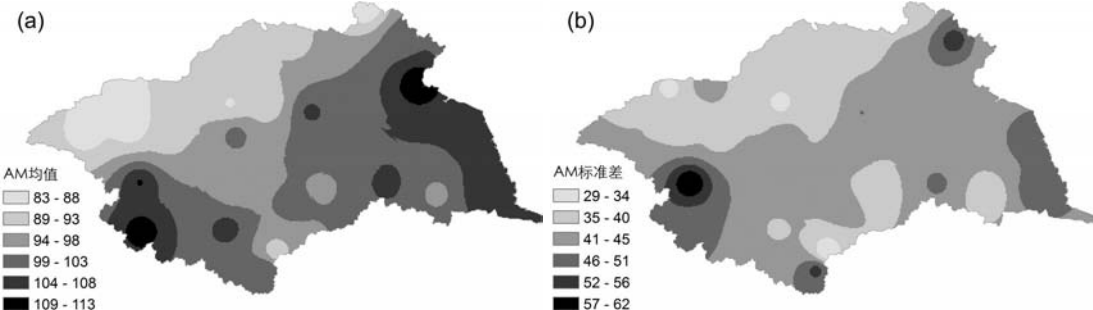


图2 淮河流域AM序列的多年平均值和标准差的空间分布

Fig. 2 The spatial (a) and standard variance (b) distribution of AM series in Huaihe river basin

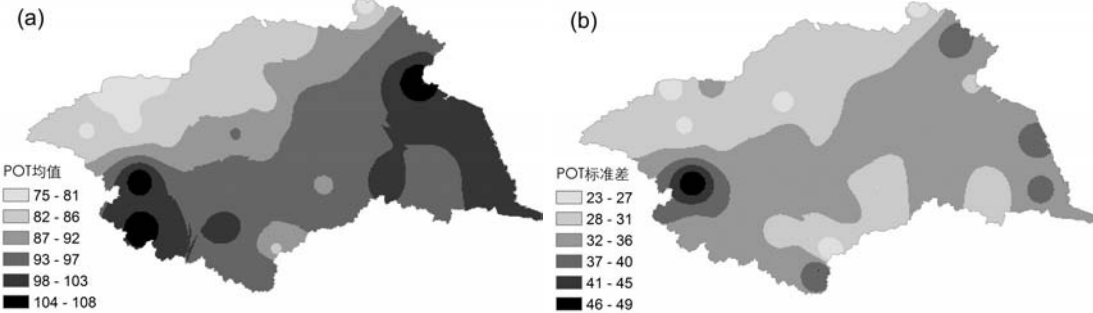


图3 淮河流域POT序列的多年平均值和标准差的空间分布

Fig. 3 The spatial (a) and standard variance (b) distribution of POT series in Huaihe river basin

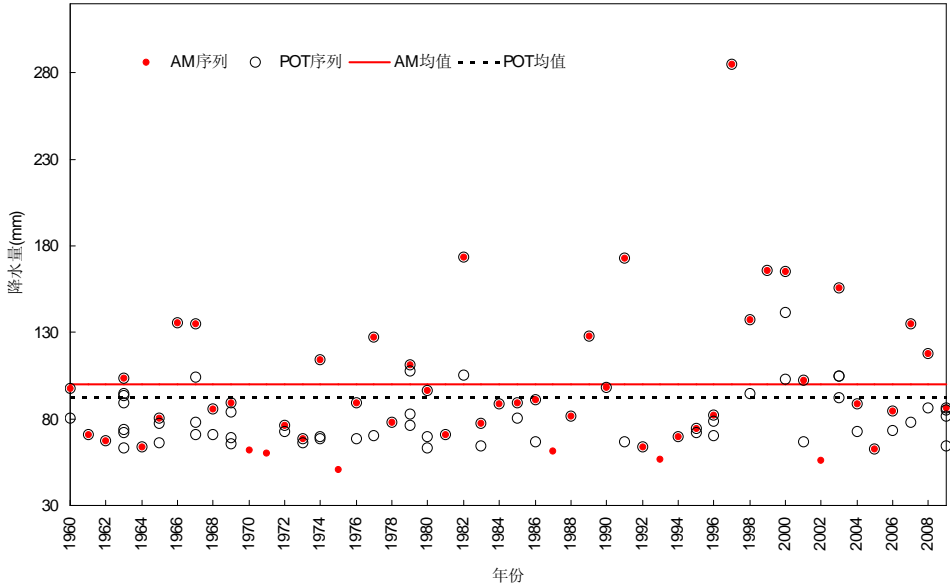


图4 亳州气象站AM和POT序列图

Fig. 4 AM and POT series of Bozhou meteorological station

和标准差均要低于AM序列。从淮河流域亳州气象站AM和POT序列(图4)可看出,AM序列每年都对对应一个日最大降水量值,序列的长度和考虑年限的长度一致。AM序列中有些年份的最大日降水量甚至低于其它年份的次大或者第三大降水量,如1975年的最大日降水量为50.8 mm,而POT序列中1963年所考虑的6场极端降水事件中的最小降水量为63.2 mm,显然,这场降水也包含了重要的极值信息,而AM序列并未包括。从图4中还可看

出,亳州站POT序列的均值要略小于AM序列的均值,这同图2和图3得出的结论一致。

3 分析方法

3.1 Mann-Kendall 趋势检验

本文采用Mann-Kendall (MK) 方法分析淮河流域年极端降水量序列空间分布和变化趋势。MK 检验是一种非参数检验方法,已被广泛的用于降水、气温以及水文序列等趋势分析和显著性检验研究中^[19-20]。Yue Sheng 和 Wang Chun Yuan^[21]的研究表明,如果气象序列的自相关性较高,在进行MK 检验前应该先剔除序列的自相关性,否则就会产生误差。对于给定的时间序列 $\{x_i, i = 1, 2, \cdots, n\}$,利用文献^[20-21]的方法剔除序列自相关性后,得到的新序列仍然记为 $\{x_i, i = 1, 2, \cdots, n\}$ 。确定该序列的对偶数 $(x_i < x_j, i, j = 1, 2, \cdots, n)$ 的个数 p ,然后计算Kendall统计量 τ ,方差 σ_τ^2 ,和标准化变量 U :

$$\tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1, \quad \sigma_\tau^2 = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}, \quad U = \frac{\tau}{\sigma_\tau^2} \tag{1}$$

统计量 U 可作为趋势性大小的衡量标准。 $U > 0$ 和 $U < 0$ 分别说明有增大趋势和减小趋势, $|U|$ 越大,则趋势越明显。当给定显著性水平 α 后,可在正态分布表中查得临界值 $U_{\alpha/2}$,若 $|U| > U_{\alpha/2}$,即说明序列的趋势性显著。本文选定的显著性水平 $\alpha = 0.05, U_{\alpha/2} = U_{0.05/2} = 1.96$,所以当 $U > 1.96$ 时表明有显著的增加趋势,而当 $U < -1.96$ 时则表明有显著的减少趋势。

3.2 分布模型的选择和参数估计方法

3.2.1 分布函数 本文选择了国内外广泛用于极端降水的统计分布模型:广义极值分布 (Generalized Extreme Value Distribution, GEV)、广义帕累托分布 (Generalized Pareto Distribution, GP) 和伽马分布 (Gamma) 来拟合淮河流域降水极值AM和POT序列。各分布的累积分布函数如表1所示。表1中 α, ξ 和 k 分别为GEV和GP分布的尺度参数、位置参数和

表1 GEV, GP和Gamma分布的累积分布函数、参数的L矩估计和重现期T下的降雨量
Tab. 1 The cumulative distribution function, L-Moments estimates of parameters and precipitation amount when return year is T years associated with the considered distributions

表1中 α, ξ 和 k 分别为GEV和GP分布的尺度参数、位置参数和形状参数。

$I_x(p, q)$ 为不完全 β 函数, 可以表示为 $I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt$

形状参数。

3.2.2 L-矩法 L-矩法是由 Hosking 在概率权重法 (Probability Weighted Method, PWM) 的基础上发展起来的^[22-23]。L-矩估计的最大特点是对序列的极大值和极小值没有常规矩那么敏感,其求得的参数估计值比较稳健^[24],本文利用L-矩法来估计各极值分布的参数。对于给定的样本序列 x_1, x_2, \dots, x_n , 将样本按照从小到大的顺序排列, 即 $x_{1,n} \leq x_{2,n} \leq \dots \leq x_{n,n}$; 则样本的前4阶矩可以如下计算^[25]:

$$\begin{cases} l_1 = b_0 \\ l_2 = 2b_1 - b_0 \\ l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \\ l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j,n}$, $b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{j-1}{n-1} x_{j,n}$, $b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j,n}$,

$$b_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=4}^n \frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x_{j,n}$$

则变差系数 τ_2 、偏态系数 τ_3 和峰度系数 τ_4 的样本估计 t_2 、 t_3 和 t_4 可以分别定义为:

$$t_2 = l_2/l_1, \quad t_3 = l_3/l_2, \quad t_4 = l_4/l_2 \quad (3)$$

利用 t_2 和 t_3 就可以实现分布参数的估计。表1给出了GEV、GP和Gamma分布参数的L-矩估计。

3.2.3 重现期估算 重现期降水的计算是水利水电工程设计洪水推算中的一个重要参数,也是研究极值分布规律的一个重要目的^[16]。表1给出了本文中所采用的3种极值分布在重现期为 T 年时的分位数。利用表1中的公式计算POT序列的分位数时,各公式中的 T 应该替换成 δT , 其中 δ 为平均每年发生极端降水事件的次数。

3.2.4 最优分布的选择 L-矩法的L-偏度和L-峰度能够用来选择符合观测数据经验频率的最优极值分布^[22]。GEV、GP和Gamma分布的峰度 $\tau_4^{(GEV)}$ 、 $\tau_4^{(GP)}$ 和 $\tau_4^{(Gamma)}$ 都可以表示成由偏度唯一决定的关系式^[22]。对于AM和POT序列, τ_3 和 τ_4 可以分别用式(3)中的L-矩估计量 t_3 和 t_4 来替代。如果用 t_3 替代峰度 $\tau_4^{(GEV)}$ 、 $\tau_4^{(GP)}$ 和 $\tau_4^{(Gamma)}$ 计算式中的 τ_3 , 则GEV、GP和Gamma分布的峰度估计量可以计算为 $t_4^{estimate}$, 计算 (t_3, t_4) 和 $(t_3, t_4^{estimate})$ 之间的距离 D , 则 D 越小, 表明该分布对观测数据的拟合效果就越好。

本文同时还利用Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验来比较数据分布形式与已知分布是否一致,以及比较样本分布与已知分布的拟合程度。假设待检验的理论分布为 $F(x)$, 原假设为: $H_0: F(x) = F_n(x)$, 根据样本数据计算出样本的累计频率 $F_n(x)$, 然后计算出检验统计量 $D = \max |F(x) - F_n(x)|$ 。若 $D < D_\alpha(n)$ ($D_\alpha(n)$ 为显著性水平 α 下, 样本量 n 时的K-S检验临界值, 可以通过查表获得), 则认为理论分布 $F(x)$ 与样本数据的经验分布拟合较好, 在显著性水平 α 下, 无显著差异。

4 结果分析

4.1 极端降水序列的时空分布和趋势分析

统计淮河流域27个气象站点的年最大日降水量序列, 利用MK趋势法分析年极端降水量在过去50年的变化趋势, MK统计值见表2。同时, 统计出每个站点过去50年的最大日降水量及其出现的时间(图5), 分析极端降水量的分布规律。

20个气象站的年最大日降水量在过去的50年有增加的趋势(表2), 只有7个站点表现

表2 AM序列的Mann-Kendall趋势值以及AM和POT序列的K-S检验值
Tab. 2 The MK value of AM series and the K-S test value of AM and POT series

站点	MK 检验值	AM 序列				POT 序列			
		GEV	GP	Gamma	最优分布	GEV	GP	Gamma	最优分布
霍山	1.564	0.058	0.092	0.139	GEV	0.043	0.074	0.188	GEV
六安	0.828	0.074	0.090	0.095	GEV	0.094	0.069	0.109	GP
信阳	0.594	0.079	0.055	0.073	GEV	0.069	0.041	0.124	GP
固始	-0.477	0.058	0.079	0.065	GEV	0.062	0.043	0.144	GP
寿县	-0.209	0.056	0.071	0.066	GEV	0.055	0.043	0.123	GP
高邮	0.025	0.054	0.092	0.077	GEV	0.065	0.045	0.154	GP
阜阳	0.644	0.051	0.082	0.104	GEV	0.083	0.050	0.139	GP
东台	0.510	0.068	0.109	0.132	GEV	0.043	0.060	0.137	GEV
蚌埠	1.330	0.050	0.082	0.047	GEV	0.078	0.039	0.133	GP
盱眙	0.744	0.075	0.065	0.081	GP	0.102	0.067	0.134	GP
驻马店	0.795	0.080	0.122	0.091	GEV	0.075	0.047	0.150	GP
宿县	0.477	0.063	0.053	0.088	GP	0.054	0.027	0.136	GP
射阳	-0.460	0.057	0.085	0.107	GEV	0.041	0.053	0.138	GP
西华	1.648	0.073	0.063	0.113	GP	0.082	0.048	0.155	GP
亳州	0.945	0.060	0.048	0.128	GEV	0.058	0.033	0.145	GP
宝丰	-0.678	0.063	0.063	0.066	GEV	0.050	0.049	0.137	GP
许昌	1.029	0.066	0.084	0.059	GEV	0.103	0.077	0.140	GP
徐州	0.427	0.083	0.122	0.122	GEV	0.039	0.085	0.153	GEV
砀山	0.410	0.048	0.076	0.132	GEV	0.050	0.038	0.140	GP
尚丘	0.995	0.046	0.080	0.048	GEV	0.110	0.083	0.145	GP
郑州	0.929	0.077	0.102	0.090	GEV	0.081	0.051	0.124	GP
开封	0.008	0.066	0.068	0.063	GEV	0.099	0.060	0.164	GP
赣榆	-0.577	0.054	0.075	0.053	GEV	0.069	0.027	0.118	GP
日照	-0.510	0.072	0.081	0.075	GEV	0.075	0.052	0.135	GP
兖州	0.243	0.090	0.133	0.136	GEV	0.049	0.074	0.174	GP
莒县	-1.179	0.056	0.084	0.093	GEV	0.052	0.049	0.196	GP
沂源	1.330	0.056	0.073	0.068	GEV	0.060	0.040	0.158	GP

表2中黑体表示该分布未通过显著性水平为0.05的K-S检验。

出减少的趋势,但是增加和减少的趋势均不显著,均未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。对于单个站点,过去50年的最大日降水量大多发生在20世纪60-70年代(图5),并且主要发生在汛期(以6月和7月居多)。

4.2 AM和POT序列的极值分布

4.2.1 最优分布的确定 从L-偏度和L-峰度之间的对应关系(图6)可看出,对于AM序列,GEV分布拟合的较好,大多数站点都集中在GEV分布附近,而对于POT序列,则是GP分布拟合的较好。

同时利用K-S检验方法计算GEV、GP和Gamma分布的K-S统计值(表2)。和图6反映的结果一致,对于AM序列,有24个站点符合GEV分布,只有3个站点符合GP分布,对于POT序列,有24个站点符合GP分布,只有3个站点符合GEV分布。值得注意的是,无论是AM序列还是POT序列,Gamma分布都不是最优分布,同时从表2还可以看出,对于POT序列,莒县的极端降水序列在Gamma分布下未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,从以上可以大致推断出,相比于GEV和GP分布,Gamma分布不适合用来模拟淮河流域的极端降水序列。图7给出了亳州气象站AM序列和POT序列在三个分布下的极端降水概率密度观测直方图和极值分布拟合曲线,可以看出,对于AM序列,GEV分布无论是在尾部还是在中间位置都能够较好的模拟极端降水频率的变化,而同样的,GP分布则能够更好的模拟POT序列。

4.2.2 重现期估计 根据确定好的最优极值分布,本文计算了AM和POT序列在重现期水平分为5年、10年、25年和50年时的各个站点降水量(图8,图9)。



图5 淮河流域27个气象站最大日降水量发生日期和相应的雨量

Fig. 5 The maximum precipitation (mm) and its occurrence date of 27 meteorological stations in Huaihe river basin

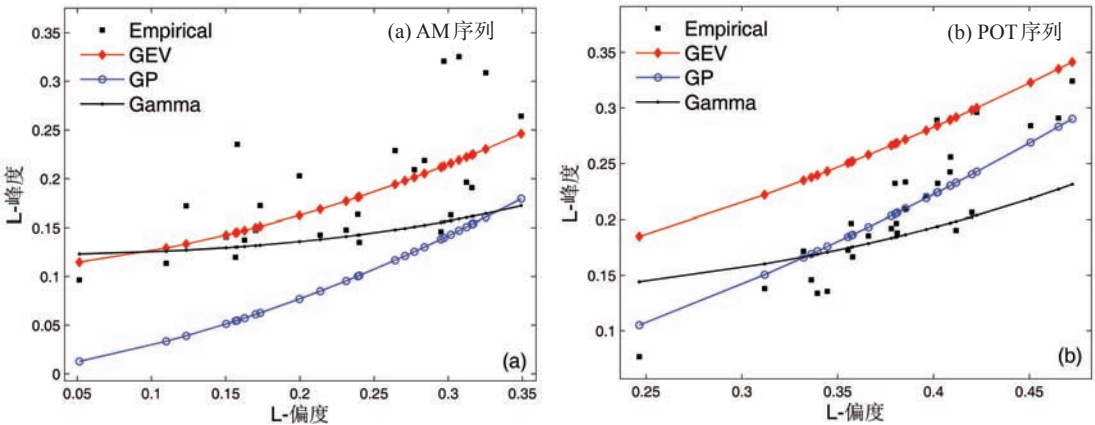


图6 经验和理论的L-偏度和L-峰度对应关系图

Fig. 6 Empirical and theoretical L-skewness and L-kurtosis

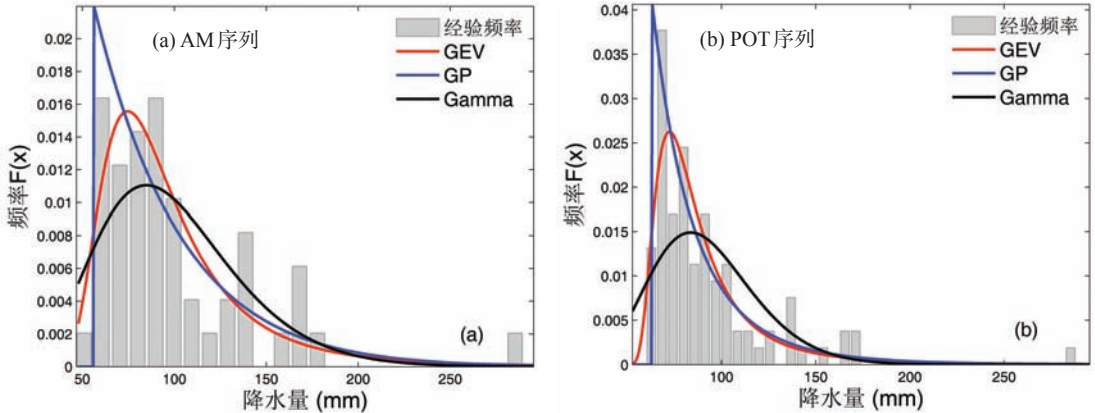


图7 亳州站极端降水概率密度观测直方图和极值分布拟合曲线

Fig. 7 Frequency histogram and the probability functions fitted at Bozhou Station

对于AM序列,在不同的重现期水平下,降水量的分布均类似(图8)。降水量的极大值均集中在淮河流域的上游和东部的沂沭泗水系。这与AM序列的多年平均值分布类似。从

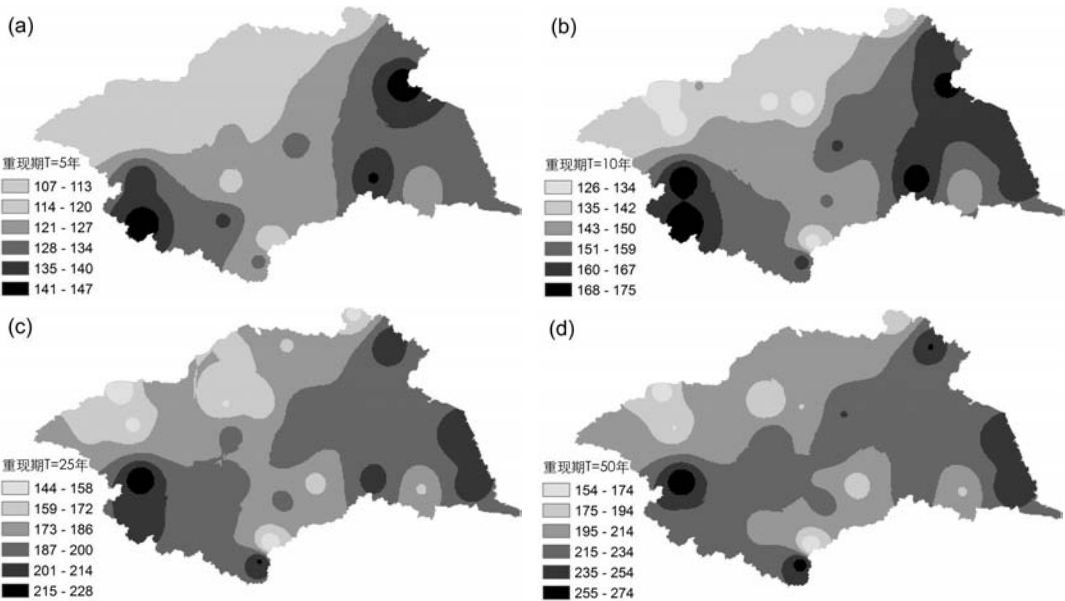


图 8 AM 序列重现期分别为 5、10、25 和 50 年时的降水量分布图
Fig. 8 Precipitation amount for return periods of 5, 10, 25 and 50 years considering the AM series

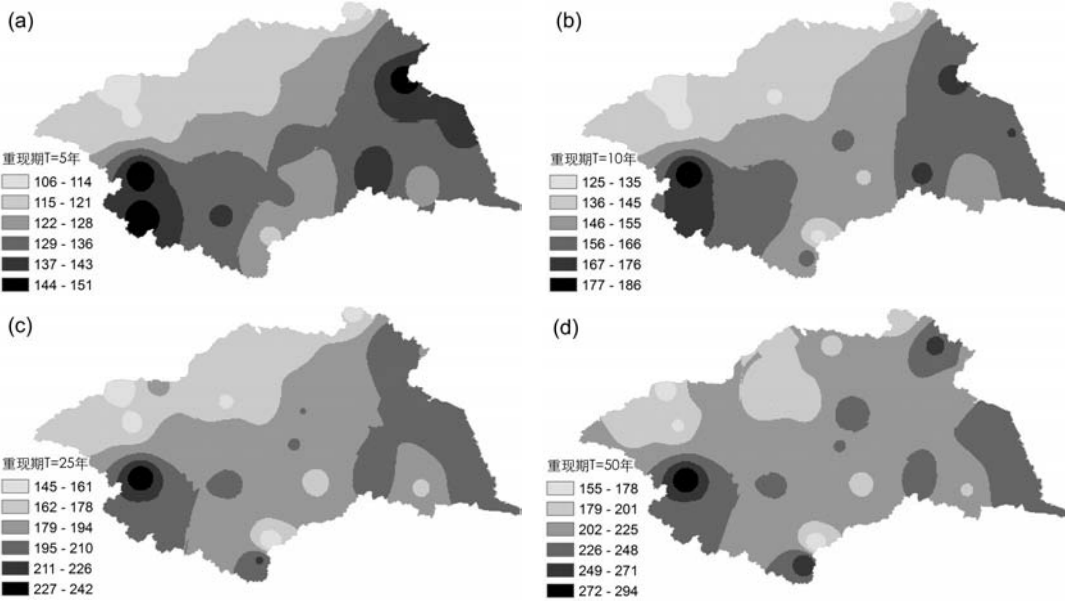


图 9 POT 序列重现期分别为 5、10、25 和 50 年时的降水量分布图
Fig. 9 Precipitation amount for return periods of 5, 10, 25 and 50 years considering the POT series

对于 POT 序列, 重现期为 5 年时的分布与 AM 序列类似, 极大降水量大多发生在淮河流域的上游和东部的沂沭泗水系 (图 9), 而重现期为 10、25 和 50 年时的极大降水量则是集中在淮河流域的上游。重现期同某个事件的发生概率是对应的, 重现期越大, 该事件发生的概率就越小。本文考虑的极端降水事件, 降水量越大, 该事件发生的概率也就越小, 则相应的重现期也就越大, 这与图 8 和图 9 中不同重现期下 AM 和 POT 序列模拟的降水量分布是一致的。

从亳州气象站在不同极值分布下重现期水平为 1 至 100 年时的降水量同观测值的对比 (图 10) 可以看出, 对于 AM 序列, GEV 分布所估计的降水量与观测值拟合的较好, 而对于 POT 序列, GP 分布所估计的降水量与观测值拟合的较好, 这从另一方面说明了 GEV 和 GP

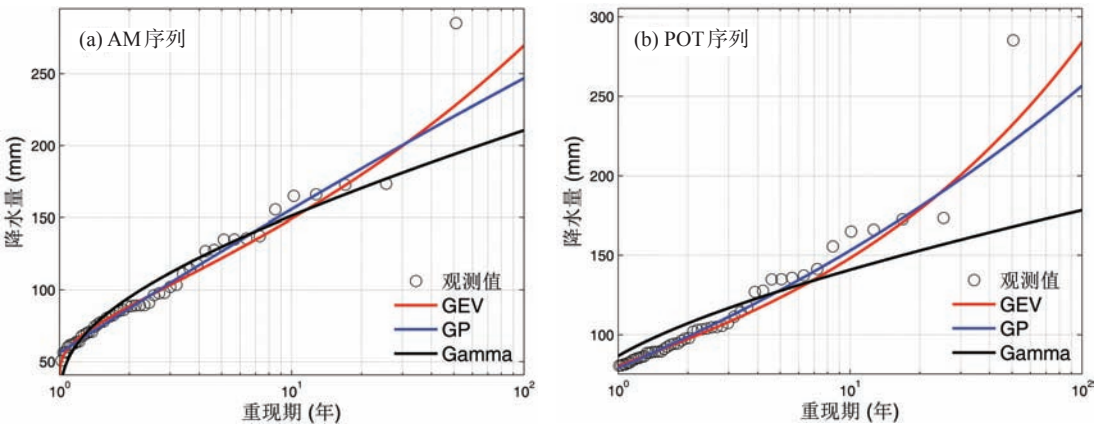


图 10 亳州气象站在不同分布下的重现期对应的降水量与观测值的对比

Fig. 10 Comparisons of predicted and observed precipitation amount at Bozhou Station under different analysis models
分别能够更好的模拟AM和POT序列。

值得注意的是,在不同的重现期下,由POT序列计算出的降水量均略大于由AM序列计算出的降水量(图8和图9)。对比图8d、图9d和图11可发现,不论是AM序列还是POT序列,模拟值均要小于实际观测值,而从图12可看出,在降水量越大的站点,模拟值的误差越大,例如驻马店站,重现期为50年时的最大观测降水量为420.4 mm,由AM和POT序列计算出的模拟值相对误差分别达到34.9%和30.0%。从整个流域上来看,在绝大多数站点,POT序列计算的降水量与观测值的相对误差要小于AM序列(图12),由此可以说明,相比于AM序列,POT序列能够更好的模拟淮河流域的极端降水事件。

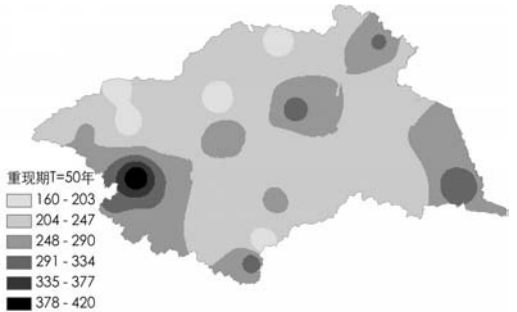


图 11 ,观测值的分布图(重现期T=50年)

Fig. 11 The distribution of observed precipitation when the return period is 50 years

5 结论

本文以淮河流域27个气象站点1960-2009年的逐日降水观测资料为基础,选取年最大日降水量和超门限峰值两个极值序列,对淮河流域的极端降水的时空分布趋势以及概率统计特征进行研究,主要结论:

(1) 近50年来,淮河流域多数站点的年最大日降水量表现出增加的趋势,只有少

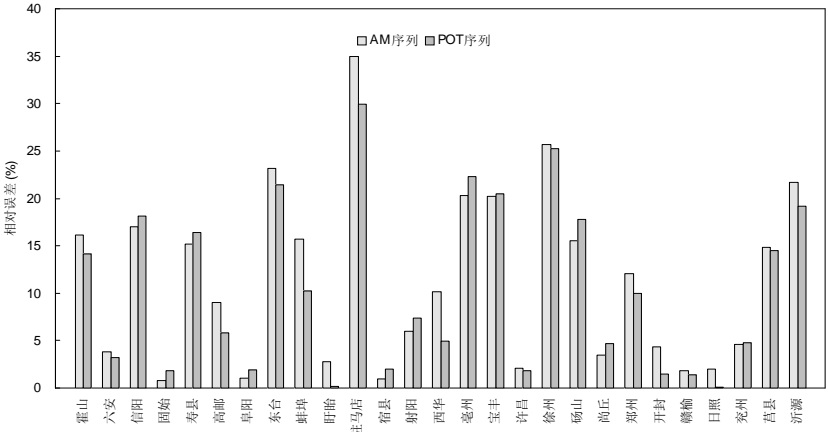


图 12 基于最优分布的AM和POT序列降水量和观测值的相对误差(T=50年)

Fig. 12 the relative error between return values of AM and POT series and observed data under the optimum extreme distribution when the return period is 50 years

数的站点有减少的趋势,但增加和减少的趋势均不显著。从单个站点来看,年最大日降水量多发生在20世纪60-70年代,集中在汛期(以6月和7月为主)。

(2) 通过L-偏度和L-峰度的对应关系图以及K-S检验,发现GEV分布能够较好的拟合AM序列,GP分布则能较好的拟合POT序列。Gamma分布对于淮河流域极值序列的拟合较差,尤其是POT序列,对莒县的模拟未通过K-S检验。

(3) 通过计算重现期水平为5、10、25和50年下降水量,发现AM序列在不同重现期下的降水量分布类似,降水极值大多集中在淮河流域的上游以及东部的沂沭泗水系,POT序列在重现期为5年时的降水量分布与AM类似,而重现期为10、25和50年时降水极值多发生在淮河流域的上游。在相同的重现期水平下,AM序列估算出的降水量略小于POT序列。通过比较估算值与观测值的相对误差发现,POT序列和对应的GP分布能够更好的模拟极端降水事件,该概率分布函数可以作为研究淮河流域极端降水时间统计特征的重要函数。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Qiang, Li Jianfeng, Chen Xiaohong et al. Spatial variability of probability distribution of extreme precipitation in Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 3-12. [张强, 李剑锋, 陈晓宏等. 基于Copula函数的新疆极端降水概率时空变化特征. *地理学报*, 2011, 66(1): 3-12.]
- [2] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis//Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press: 2007.
- [3] Wang Fang, Tian Hong. Characteristics of extreme precipitation events in Huaihe River Basin in 1960-2007. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(3): 228-229. [汪方, 田红. 淮河流域1960-2007年极端强降水事件特征. *气候变化研究进展*, 2010, 6(3): 228-229.]
- [4] Zhang Ting. Probability distribution of precipitation extremes during raining seasons in South China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, 67(3): 442-450. [张婷. 华南地区汛期极端降水的概率分布特征. *气象学报*, 2009, 67(3): 442-450.]
- [5] Hu Haoran, Mao Xiaoliang, Liang Ling. Temporal and spatial variations of extreme precipitation events of flood season over Sichuan Basin in last 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(3): 278-288. [胡豪然, 毛晓亮, 梁玲. 近50年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变. *地理学报*, 2009, 64(3): 278-288.]
- [6] Cai Min, Ding Yuguo, Jiang Zhihong. Extreme precipitation experimentation over eastern China based on L-moment estimation. *Plateau Meteorology*, 2007, 26(2): 309-318. [蔡敏, 丁裕国, 江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征. *高原气象*, 2007, 26(2): 309-318.]
- [7] Liu Xuefeng, Xiang Liang, Yu Changwen. Characteristics of temporal and spatial variations of the precipitation extremes in the Haihe River Basin. *Climatic and Environmental Research*, 2010, 15(4): 451-461. [刘学锋, 向亮, 于长文. 海河流域降水极值的时空演变特征. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 451-461.]
- [8] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(增刊): 1-10. [翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化. *地理学报*, 2003, 58(增刊): 1-10.]
- [9] Su Buda, Gemmer Marco, Jiang Tong et al. Probability distribution of precipitation extremes over the Yangtze River basin during 1960-2005. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(4): 208-213. [苏布达, Gemmer M, 姜彤等. 1960-2005年长江流域降水极值概率分布特征. *气候变化研究进展*, 2007, 3(4): 208-213.]
- [10] Xiao Hui, Jiang Aijun, Shen Zhen et al. The space-time distribution characters of maximum diurnal precipitation in Jiangsu Province and the statistic assimilation. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2006, 26(2): 177-182. [肖卉, 姜爱军, 沈填等. 江苏省最大日降水量时空分布特征及其统计拟合. *气象科学*, 2006, 26(2): 177-182.]
- [11] Dong Quan, Chen Xing, Chen Tiexi et al. Relationship between extremes of precipitation and discharge in the Huaihe River Basin. *Journal of Nanjing University: Natural Science*, 2009, 45(6): 790-801. [董全, 陈星, 陈铁喜等. 淮河流域极端降水与极端流量关系的研究. *南京大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(6): 790-801.]
- [12] Zhang Jinling, Wang Ji. Temporal and spatial variation characteristic of extreme precipitation events in the Yangtze and Huaihe river basin of China from 1961 to 2006. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(7): 3089-3091. [张金玲, 王冀. 1961-2006年江淮流域极端降水事件变化特征. *安徽农业科学*, 2009, 37(7): 3089-3091.]
- [13] Ma Xiaoqun, Chen Xiaoyi, Yao Yun. Spatial and temporal changes of precipitation at different grades and their impacts on agriculture in Huaihe River Basin of Anhui Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(1): 25-30. [马晓群, 陈晓艺, 姚筠. 安徽淮河流域各级降水时空变化及其对农业的影响. *中国农业气象*, 2009, 30(1): 25-30.]
- [14] Wei Fengying, Zhang Ting. Oscillation characteristics of summer precipitation in the Huaihe River valley and relevant climate background. *Science in China: Series D*, 2009, 39(10): 1360-1374. [魏凤英, 张婷. 淮河流域夏季降水的振荡特

- 征及其与气候背景的联系. 中国科学: D辑, 2009, 39(10): 1360-1374.]
- [15] Wijngaard J B, Klein Tank A M G, Konnen G P. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(6): 679-692.
- [16] Su Buda. Probabilistic characteristics of precipitation extremes over the Yangtze River basin. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2008, 28(6): 625-629. [苏布达. 长江流域极端强降水分布特征的统计拟合. *气象科学*, 2008, 28(6): 625-629.]
- [17] Groisman P Y, Karl T R, Easterling D R et al. Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 243-283.
- [18] Ding Yuguo, Jiang Zhihong. *The Introduction of Extreme Climate Research*. Beijing: China Meteorological Press, 2009. [丁裕国, 江志红. 极端气候研究方法导论. 北京: 气象出版社, 2009.]
- [19] Xu Zongxue. Long-term trend of precipitation in the Yellow River Basin during the past 50 years. *Geographical Research*, 2006, 25(1): 27-34. [徐宗学. 黄河流域近50年降水变化趋势分析. *地理研究*, 2006, 25(1): 27-34.]
- [20] Chu Jianting, Xia Jun, Xu Chongyu et al. Comparison and spatial-temporal variability of daily precipitation data of weather stations and rain gauges in Haihe River basin. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(9): 1083-1092. [褚健婷, 夏军, 许崇育等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异. *地理学报*, 2009, 64(9): 1083-1092.]
- [21] Yue S, Wang C Y. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research*, 2002, 38(6), doi: 10.1029/2001WR000861.
- [22] Hosking J R M, Wallis J R. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [23] Hosking J R M. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 1990, 52(1): 105-124.
- [24] Cai Min. Advantages of L-moment estimation and its application to extreme precipitation. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, 27(6): 597-603. [蔡敏. L-矩估计方法在极端降水研究中的应用. *气象科学*, 2007, 27(6): 597-603.]
- [25] Xiong Lihua, Guo Shenglian. Application of L-moments in the regional flood frequency analysis. *Water Power*, 2003, 29(3): 6-8. [熊立华, 郭生练. L-矩在区域洪水频率分析中的应用. *水力发电*, 2003, 29(3): 6-8.]

The Trend Analysis and Statistical Distribution of Extreme Rainfall Events in the Huaihe River Basin in the Past 50 Years

SHE Dunxian^{1,2}, XIA Jun¹, ZHANG Yongyong¹, DU Hong³

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. State key laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data from 27 meteorological stations in the Huaihe river basin during 1960-2009, we analyzed the trend and statistical distribution of extreme precipitation events in this area. The annual maximum series (AM) and peak over threshold series (POT) are selected to describe the extreme distribution. The results show that positive trend of annual maximum precipitation is detected in most of the stations, only a small number of stations are found to be negative during the past five decades, and neither of the positive or negative trend is significant. The daily maximum precipitation events during a year almost occurred in the flood seasons of the 1960s-1970s. By the L-moments method, the parameters of three extreme distributions, which are GEV, GP and Gamma, are estimated. From the results of goodness of fit test and K-S test, we found that AM series can be better fitted by GEV model and POT series can be better fitted by GP model. In comparison with the precipitation amounts at different return levels, we found that the values obtained from POT series is slightly larger than the values from AM series, and they can better fit the observed values in the Huaihe River Basin.

Key words: Huaihe River; extreme precipitation; L-moments method; K-S test