

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.01.001

淮河流域极端降水特征及不同重现期降水量估计

荣艳淑¹, 王 文², 王 鹏³, 白路遥¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 广东科诺电力岩土工程有限公司, 广东 广州 510600)

摘要: 基于淮河流域 25 个气象站的逐日降水量资料, 分析了极端日降水量、极端最大过程降水量和最大持续降水日数 3 个极端降水指标的时空变化特征, 利用广义极值理论估算了重现期降水量。结果表明: 在空间上, 半湿润气候区有更强极端降水过程, 而湿润气候区降水极端性偏小; 在时间上, 降水偏多的年代, 极端降水量和极端降水过程更多, 降水偏少的年代, 极端降水指标数值偏小; 重现期时间尺度存在临界点, 在临界点以下, 各站重现期降水量都会明显增大, 超过临界点, 淮河流域上游和南部重现期降水量变化很小, 而中游、下游和北部重现期降水量增大明显。

关键词: 极端降水; 时空变化特征; 广义极值模型; 重现期估计; 淮河流域

中图分类号: P333 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000-1980(2012)01-0001-08

Analysis of characteristics of extreme rainfall and estimate of rainfall during return periods in Huaihe Basin

RONG Yan-shu¹, WANG Wen², WANG Peng³, BAI Lu-yao¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Guangdong Kenuo Power Geotechnical Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510600, China)

Abstract: Based on the daily rainfall data at 25 meteorological stations in the Huaihe Basin, the characteristics of spatial and temporal variation in three extreme rainfall indices, including the extreme daily rainfall, extremely persistent rainfall, and extremely persistent rainfall dates, were investigated, and the rainfall during the return periods was estimated by generalized extreme-value distribution (GEV). The results show that in spatial variation, the extreme rainfall indices were higher in the semi-humid region and lower in the humid region of the Huaihe Basin, and that in temporal variation, the extreme rainfall indices were higher in flood periods and lower in dry periods. There existed a critical point in the temporal scale of the return period: below this critical point, the rainfall increased rapidly, and when exceeding the critical point, the rainfall changed insignificantly during the return periods in the upper reaches and south of the Huaihe River and increased significantly in the middle reaches, lower reaches, and north of the Huaihe River.

Key words: extreme rainfall; characteristics of spatial and temporal variation; generalized extreme-value distribution; estimate of return period; Huaihe Basin

降水研究通常是从月、季和年降水总量入手, 研究其平均变化特征、概率分布特征等。近年来, 随着气候变暖, 世界各地不仅降水量变化很大, 而且降水特性变化也很大, 微量降水明显减少^[1], 极端降水显著增强^[2-4]。研究表明, 当气候变暖时, 有些地区在降水总量增加的同时, 极端降水量也显著增加^[5-6], 另外一些地区降水总量不变或者减小, 极端降水仍有显著增大趋势^[7], 而且极端降水增加的趋势显著大于平均降水量增加的趋势^[8]。极端降水引发的水文极端过程有目共睹, 产生的洪涝灾害、社会、经济、保险等一系列损失触目

收稿日期: 2011-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(40771039, 41030636, 50879017)

作者简介: 荣艳淑(1961—)女, 天津人, 教授, 博士, 主要从事气候变化及水文气象研究。E-mail: ysrn@hhu.edu.cn

惊心.极端降水问题属于小概率事件,属于极值理论研究范畴,近年来有多种极值分布模型用于极端降水、洪涝、河川径流研究,衍生出多种重现期估算方法^[9-12].重现期分析及预测对水利、建筑及海洋等领域的工程建设和环境开发,对风能资源的开发利用,甚至在金融和保险领域的风险评估中都有着极其重要的作用.

淮河是南北气候带的自然分界区,流域北部是半湿润气候区,南部是湿润气候区,其水文气象研究有重要价值.过去的研究多集中于淮河流域极端降水指数的变化特征^[13-14]和概率拟合模型^[9].本文拟选择可导致洪涝灾害发生的极端日降水量、极端过程降水量和极端降水持续时间作为极端指数,探讨该区域极端降水的时空变化特征,给出基于广义极值理论的不同时间尺度重现期的极端降水空间分布及变化分析.

1 研究数据及极值概率分布理论

1.1 研究数据

选取淮河流域内河南省郑州、许昌、开封、宝丰、西华、驻马店、商丘、固始、信阳,山东省莒县、兖州、沂源、日照,江苏省徐州、盱眙、赣榆、射阳、东台和安徽省阜阳、霍山、砀山、蚌埠、亳州、宿县、六安 25 个气象站的气象观测资料.气象资料以日降水量资料为主,来源于中国气象局气象信息中心,资料起止时间为 1951 年 1 月 31 日—2007 年 12 月 31 日.

极端最大日降水量是利用年最大抽样法,在每个站点的日降水量序列中,每年选择 1 个日降水量最大的数据,构成年极端最大日降水量序列.最大过程降水量和最长持续降水日数是在每年的日降水量序列中,挑选出连续多日持续存在降水的过程降水量的最大值及其对应的持续降水日数,用每年的最大过程降水量和最长持续降水日数构成 2 个新的时间序列.对于那些超过上述定义的数值,由于其对应的降水量不是最大持续降水量,而忽略不计.

1.2 极值概率分布理论

一般情况下,随机变量 X 服从正态分布.极值是从随机序列中挑选出来的最大值或最小值,用 $M_m = \max(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $M_n = \min(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 分别表示 n 个随机变量的最大值与最小值,其概率分布特征可用广义极值模型(GEV)来拟合^[15].最大日降水量、最大过程降水量和最长持续降水日数均是降水量极值,因此它们也可用 GEV 模型来拟合^[16].GEV 模型的分布函数可表达为

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}}\right] \quad \left(1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\sigma} > 0\right) \quad (1)$$

其中 ξ , μ 和 σ 分别是形状参数、位置参数和尺度参数.当形状参数取不同数值时,对应了 3 种不同的极值行为.

对于 GEV 分布的参数,可用矩法、极大似然法、耿贝尔法、概率加权矩法等方法进行估计.由于极大似然法具有对复杂模型易适应,同时参数估计效果相当精确的特点^[17-18],因此本文用极大似然法估计模型参数.参数确定后,给定重现期 T ,则 T 年一遇的极值降水为

$$R_T = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \ln(1 - (-\ln p)^{-\xi}) \quad (2)$$

式中: R_T —— T 年重现期所对应的降水量; p ——重现期对应的概率.

2 极端降水的变化

2.1 极端日降水量的变化

最大日降水量随时间和空间变化很大,为了研究各个站点的极端性特征,从每个站的最大日降水量序列中再挑选出极端最大日降水量,图 1 给出了其空间分布特征.从图 1 可以看出,淮河流域的北部(包括山东和河南的东部)极端日降水量最小,平均在 200 mm 以下;淮河中部和南部极端日降水量最大,平均在 250 mm 以上,极端日降水量的中心数值达到 300 mm 以上.

图 2 是各个年代极端最大日降水量的空间分布图,以此观察极端最大日降水量随时间的变化.分析各个年代的空间分布可以发现,不同站点最大日降水量随时间变化很大.20 世纪 50 年代(图 2(a)),最大日降水量呈现出 2 高 2 低相间分布的特征,最大日降水量在 200 mm 左右,最小值在 120 mm 左右,相比其他年代,极端值较小.60 年代(图 2(b))极端性略有增强,空间分布特征变化不大,但是数值有所增大,变化最大的地方

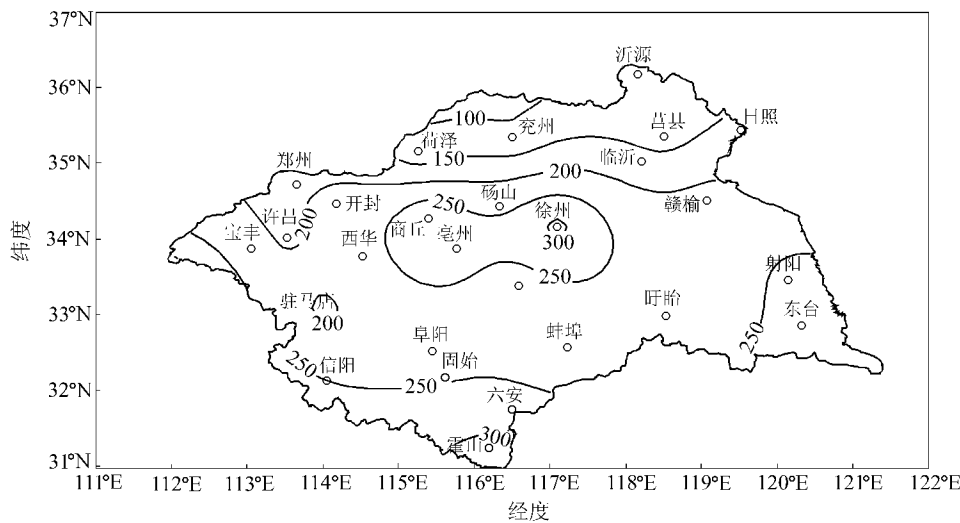


图 1 极端最大日降水量的空间分布(单位: mm)

Fig. 1 Spatial distribution of extreme daily rainfall (unit : mm)

在淮河下游的北部,日降水量最大值达到了 280 mm,形成了一个最大值中心.70 年代(图 2c)空间分布图略有变化,呈现了上游和下游均为日降水量最大的区域,中游为偏小区的特点,从数值上讲,与 60 年代相当.80 年代(图 2d)极端日降水量变化很明显,淮河上游降水极端性显著增强,极端日降水量明显增大,在下游极端性减弱,数值减小明显.90 年代(图 2e)极端最大日降水量的中心向淮河流域的中游移动,在江苏西部和安徽北部形成一个大值中心,中心值达到了 300 mm.进入 21 世纪后(图 2f)时间段为 2001—2007 年),极端日降水量中心向淮河南部移动,形成了以安徽南部为最大日降水量中心的空间分布图,中心数值也达到了 300 mm,而淮河流域的上游和下游降水极端性减弱.

从图 1 和图 2 可以看出,淮河流域中游是极端日降水量最大的区域,尽管不同年代极端日降水量的中心不固定,但是它的运动轨迹却是以顺时针方向围绕中游而旋转.

2.2 极端最大过程降水量的变化

极端最大日降水量可以让人们看到极端降水的强度,但是,产生严重洪涝灾害的天气常常是由连续性降水导致.1998 年长江全流域特大洪涝灾害是在汛期几十天内经历了多次大到暴雨过程,造成了长江流域出现百年一遇的洪涝灾害.因此,分析最大过程降水对研究洪水过程具有实际意义.

图 3 是极端过程降水量的空间分布图,其取值方法与图 1 数据的取值相同.可以看出,淮河流域的极端过程降水呈现自西向东的大、小值相间分布的特征,其中最大值中心(数值超过 560 mm)在淮河上游(河南南部一带),最小值中心(数值在 360 mm 左右)在淮河流域中游(安徽和江苏交界处).因此,淮河上游持续性降水过程的雨量明显大于中下游,一旦上游出现持续多日的强降水,对淮河中下游的冲击将是非常严重的.

图 4 是各年代极端过程降水量的空间分布图.可以看出与图 2 类似的现象,20 世纪 50(图 4a)和 60 年代(图 4b)过程降水量较大,400 mm 以上降水等值线包围的面积明显偏大,而 300 mm 以下的面积明显偏小,说明连续降水超过 400 mm 的区域较大,小于 300 mm 的区域较小,因此 50 和 60 年代是持续异常降水量较大的年代.70(图 4c)和 80 年代(图 4d)与前 2 个年代相似.20 世纪 90 年代(图 4e)和 21 世纪初(图 4f)300 mm 等值线以下的面积明显增大,而 400 mm 等值线以上的面积明显减小,说明极端过程降水量明显减少,但是,仍存在淮河流域上游持续降水过程雨量大于中下游的特点.

2.3 极端持续降水日数的变化

极端持续降水日数的空间分布(图 5)呈现出北大南小的分布特征,淮河流域北部持续降水日数超过 13 d,而南部持续降水日数在 10 d 以内.

对于逐年代极端持续降水日数而言,20 世纪 50 和 60 年代是持续降水最长的年代,降水持续时间平均在 4~12 d 和 6~13 d.70 和 80 年代是过渡时期,极端降水持续时间居中,90 年代最少,在 2~8 d 的范围内变化.2000 年以后,淮河流域各站之间极端持续降水日数差异明显增大,淮河流域北部该值达到了 12 d 左右,其他地区只有 2~3 d,这种现象在其他几个年代都未出现过.

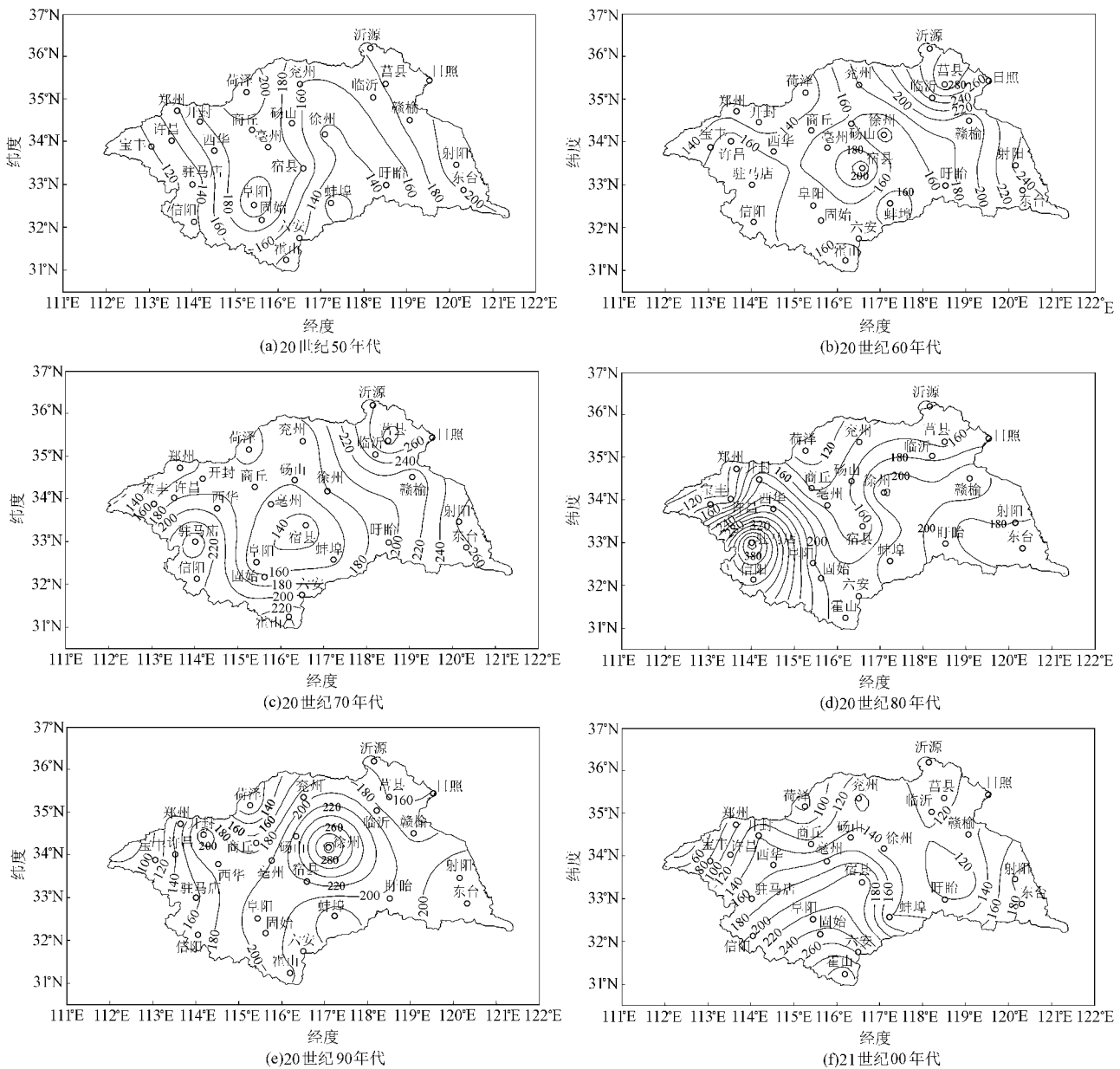


图 2 各年代极端最大日降水量的空间分布(单位 mm)

Fig. 2 Spatial distribution of extreme daily rainfall in each decade(unit : mm)

因此 ,对应 20 世纪 50 和 60 年代这 2 个多雨年代^[8] ,相应的持续降水日数也较大 ,在 90 年代这个较为干旱的年代^[8] ,持续降水日数也较小 .但是 ,进入 21 世纪后 ,淮河流域持续降水日数呈现两极分化现象 ,表明该年代的降水极端性更加复杂 .

3 极端降水重现期的估计

3.1 极端日降水量的重现期估计

通过上述分析可知 ,淮河流域 200 mm 以上的降水量是很危险的数值 ,能否预测这种程度的降水过程很重要 .达到 200 mm 以上降水出现的时间通常都需要较长的重现期 ,因此以 50 a ,100 a ,200 a 和 500 a 4 个时间段为重现期尺度 ,分别计算了淮河流域 25 个气象站的 4 个重现期所对应的降水量 ,其空间分布状况如图 6 所示 .

由图 6 可见 4 个重现期降水量的空间分布呈倾斜的鞍形场分布 ,东北—西南向数值接近 ,是整个流域数值最大的区域 ,西北—东南向数值接近 ,且数值偏小 .在 50 a 一遇(图 6(a))的重现期水平上 ,东北—西南

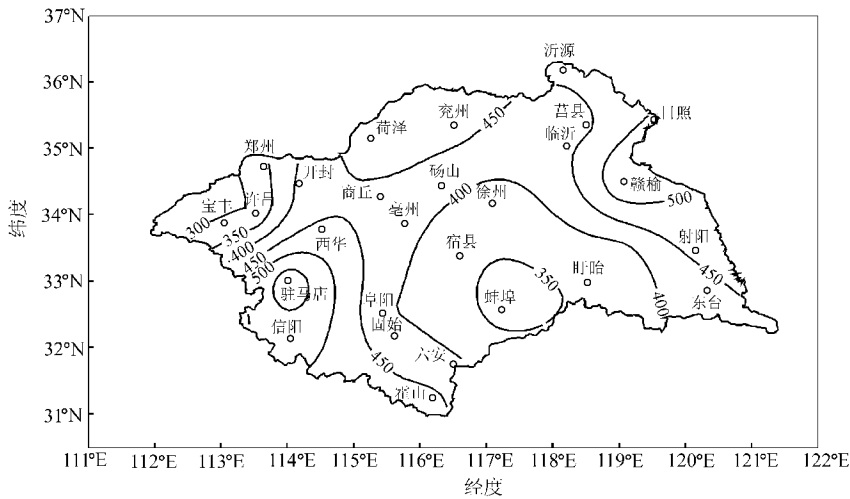


图 3 极端最长持续降水量的空间分布(单位 :mm)

Fig. 3 Spatial distribution of extremely persistent rainfall(unit : mm)

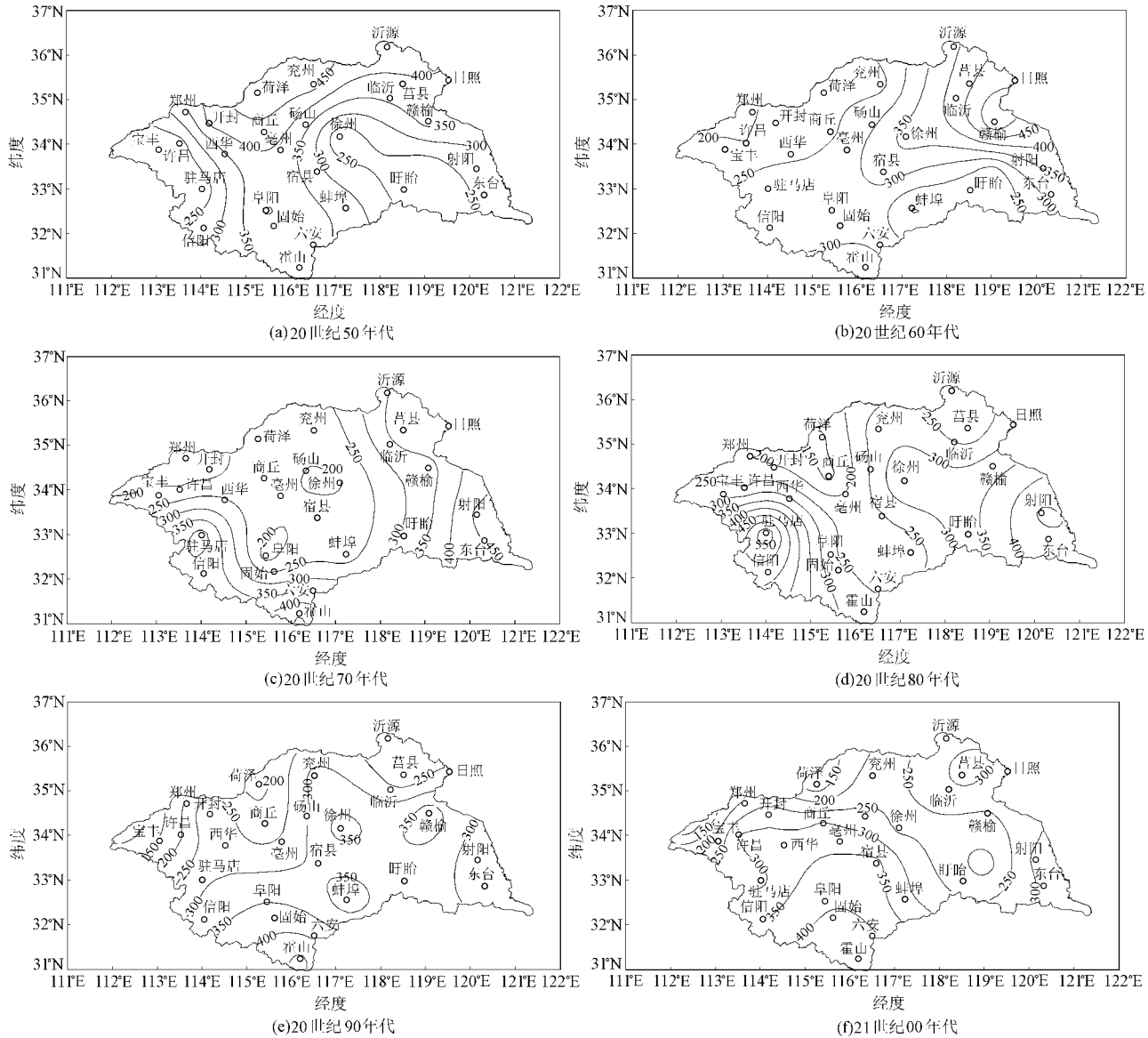


图 4 各年代极端持续降水量的空间分布(单位 :mm)

Fig. 4 Spatial distribution of extremely persistent rainfall in each decade(unit : mm)

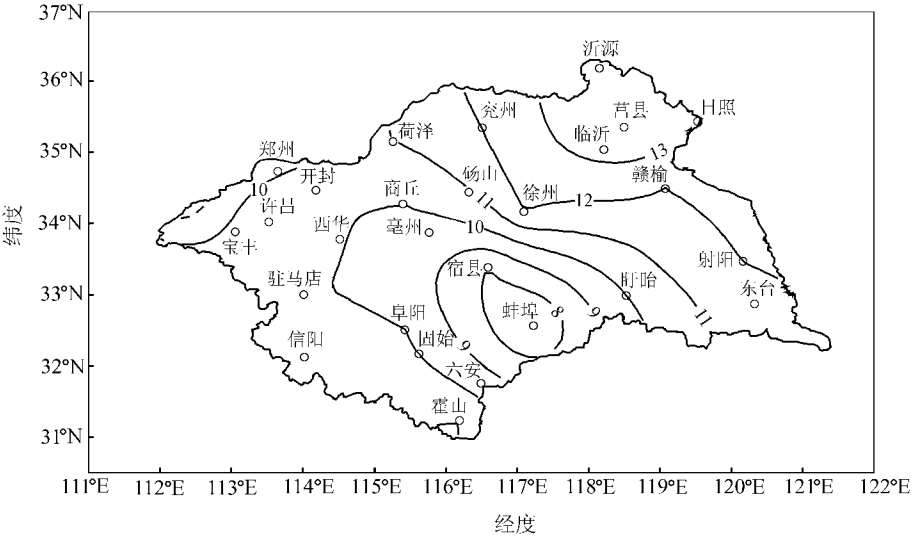


图 5 极端持续降水日数的空间分布(单位 : d)

Fig. 5 Spatial distribution of extremely persistent rainfall dates(unit : d)

向区域的降水量达到了 220 ~ 240 mm 的水平 ,而西北—东南向的区域降水量小于 200 mm 水平 . 当时间尺度放大到 100 a 时(见图 6 (b)) ,东北—西南向区域的降水量达到了 260 ~ 300 mm 的水平 ,而西北—东南向的区域降水量在 240 mm 以下 . 对于 200 a 一遇的时间尺度(图 6 (c)) ,降水最大的区域数值在 300 mm 以上 ,而降水偏小区域数值在 280 mm 以下 . 而对于 500 a 一遇的时间尺度(图 6 (d)) ,2 个区域的数值分别大于 360 mm 和小于 320 mm .

显然 ,各站的重现期水平并不是随着时间尺度成倍加大而加大 ,而是呈缓慢增大 ,因此 ,极端降水量的重现期随时间的变化是一种非线性变化过程 .

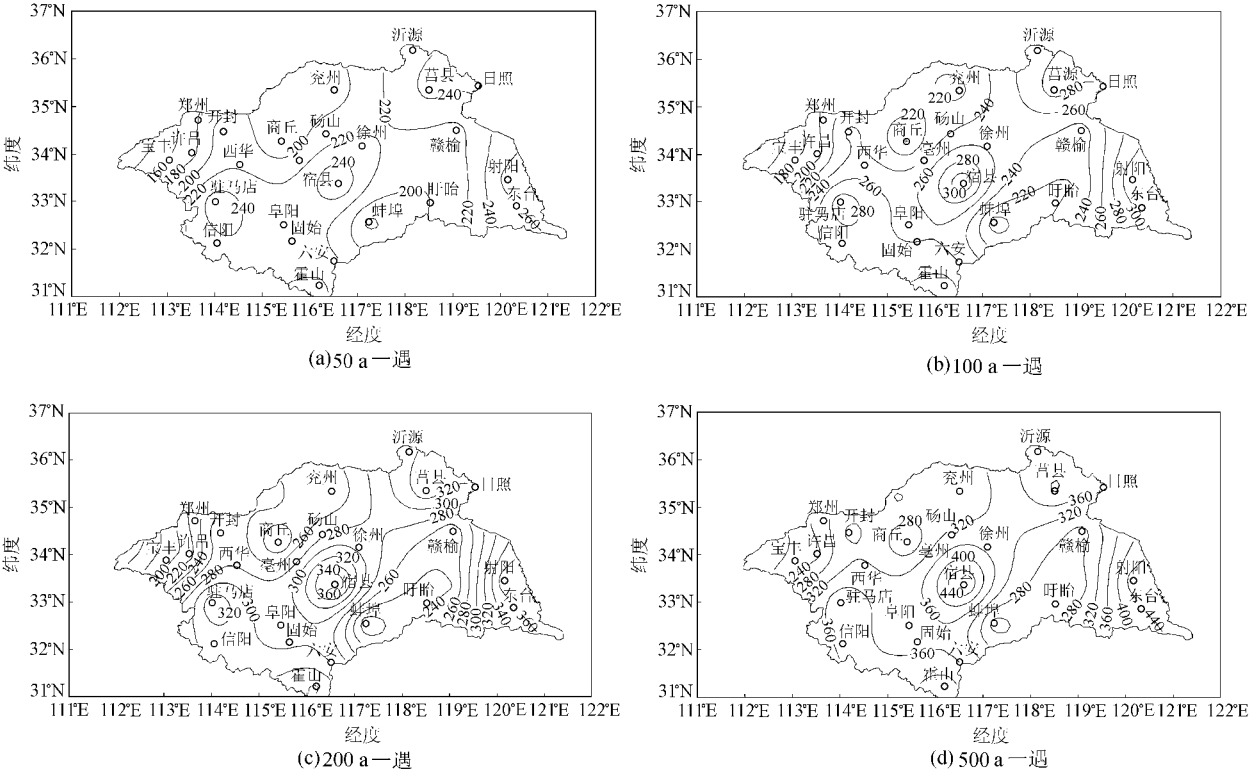


图 6 不同重现期降水量的空间分布(单位 : mm)

Fig. 6 Spatial distribution of rainfall during different return periods(unit : mm)

3.2 极端持续降水量的重现期估计

极端过程降水量的重现期,大约 10 a 即可达到 200 mm 的降水量水平,500 a 可达到 900 mm 的降水量水平.因此,对于过程降水量的预测要给予足够的重视.过程降水重现期的空间分布特征与极端日降水重现期很相似,也有鞍形场的分布特征.此处仅给出淮河流域上游(许昌)、下游(射阳)、北部(莒县)、南部(蚌埠)和中游(宿县)地区 5 个代表站不同重现期对应的过程降水量的变化曲线,如图 7 所示.

从图 7 可以看出,当重现期水平为 10 a 时,5 个测站对应的降水量从小到大的顺序分别为许昌、蚌埠、莒县、宿县和射阳,但是,当重现期时间尺度增大时,对应的降水量增长趋势不同.蚌埠和许昌 2 个站有缓慢增长趋势,莒县、宿县和射阳 3 个站有快速增大趋势.当重现期时间达到 50 a 以后,重现期对应的降水量有迅速增长趋势.或者说,淮河流域上游和流域南部当重现期时间尺度增大到 50 a 时,重现期越大,对应的降水量增大不明显;而淮河流域中游、下游和北部当重现期时间超过 50 a 时,对应的降水量则明显增大,相应地产生的洪涝灾害风险也会显著增大.

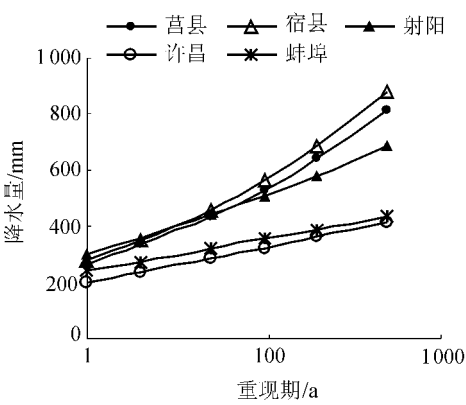


图 7 不同重现期极端过程降水量的重现值
Fig. 7 Extremely persistent rainfall during different return periods

4 结 论

a. 在空间分布上,极端最大日降水量有淮河流域北部偏小、南部偏大的特点.极端过程降水量在空间上呈鞍形场的特征,有东北—西南向偏大、西北—东南向偏小的特点.极端持续降水日数有南北向分布的特点,即淮河流域北部持续降水时间较长,而南部持续时间较短.因此,几种极端降水指标的空间分布特征并不与当地的气候特征相对应,并不是半润湿气候区极端降水偏小,湿润气候区降水极端性偏大,而是半湿润气候区常常会出现更强的极端降水量和极端降水过程,而湿润气候区降水极端性较小.

b. 在多雨年代(20 世纪 50 和 60 年代)3 个极端降水指标都比较大,在少雨年代(90 年代)3 个极端降水指标明显偏小.在多雨年代向少雨年代转变的过渡年代(70 和 80 年代)极端降水指标数值适中.进入 21 世纪以来,淮河流域降水量明显增大,3 种极端降水指数也相应增大.上述特征反映了淮河流域降水量偏多的年代,降水极端性更强的特点.

c. 淮河流域极端降水的重现期水平差异明显,对应每一个重现期水平,空间分布上具有东北—西南向数值偏大、西北—东南向数值偏小的特征.随着重现期时间尺度的变化,存在一个临界重现期时间段,该点大致以 50 a 为临界点,在该临界点之前,淮河流域各站重现期降水量都有迅速增大的特征,但是当重现期超过该临界点时,淮河流域上游和流域南部重现期降水量变化不明显,而流域中游、下游和南部重现期降水量有逐渐增大的特征,都有随时间呈非线性变化的特征,因此增加了极端降水预测的难度.

参考文献:

[1] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等.近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述[J].地球科学进展,2007,22(7):673-684.
(QIAN Wei-hong , FU Jiao-lan , ZHANG Wei-wei , et al. Change in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years [J]. Advanced in Earth Science , 2007 22(7) : 673-684. (in Chinese))

[2] SOLOMON S , QIN Da-he , MANNING M , et al. Climate change 2007 : the physical science basis[R]. Cambridge : Cambridge University Press , 2007 .

[3] GROISMAN P Y , KARL T R , EASTERLING D R , et al. Changes in the probability of heavy precipitation : important indicators of climatic change[J]. Climatic Change , 1999 42 243-283 .

[4] EASTERLLING D R , EVANS J L , GROISMAN P Y , et al. Observed variability and trends in extreme climate events : a brief review[J]. Bulletin of the American Meteorological Society , 2000 81(3) 417-425 .

[5] MEEHL G A , KARL T , EASTERLING D R , et al. An introduction to trends in extreme weather and climate events : observations , socioeconomic impacts , terrestrial ecological impacts , and model projections[J]. Bulletin of the American Meteorological Society , 2000 81 (3) 413-416 .

[6] MEARNS K R W. Extreme high temperature events in their probabilities changes in mean temperatur[J]. Climate and Appl Meteor , 1984 ,

23(2):1601-1613.

- [7] TANK A , KONNEN G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe ,1946-1999[J]. Journal of Climate , 2003 ,16(22) 3665-3680.
- [8] KHARIN V V , FRANCIS W Z. Estimating extremes in transient climate change simulation[J]. Climate ,2005 ,18 :1156-1173.
- [9] 江志红 ,丁裕国 ,朱莲芳 ,等 . 利用广义帕雷托分布拟合中国东部日极端降水的试验 [J]. 高原气象 ,2009 ,28(3) :573-580.
(JIANG Zhi-hong , DING Yu-guo , ZHU Lian-fang , et al. Extreme precipitation experimentation over eastern China based on Generalized Pareto Distribution[J]. Plateau Meteorology ,2009 ,28(3) :573-580.(in Chinese))
- [10] 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 Yuan-fang , WANG Qing-rong , SHA Zhi-gui , 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. (in Chinese))
- [11] 董洁 ,谢悦波 ,颜秉龙 . 洪水频率分析的非参数密度变换模型研究 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2005 ,33(4) :378-381. (DONG Jie , XIE Yue-bo , YAN Bing-long. Study on nonparametric transformed kernel estimate model for flood frequency analysis [J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences ,2005 ,33(4) :378-381. (in Chinese))
- [12] 杨涛 ,陈喜 ,杨红卫 ,等 . 基于线性矩法的珠江三角洲区域洪水频率分析 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2009 ,37(6) :615-619. (YANG Tao , CHEN Xi , YANG Hong-wei , et al. Regional flood frequency analysis in Pearl River Delta region based on L-moments approach[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences ,2009 ,37(6) :615-619. (in Chinese))
- [13] 荣艳淑 ,王鹏 ,王文 . 中国淮河流域极端降水的变化 [M] // 夏军 ,贾绍凤 ,刘苏峡 . 水系统与水资源可持续管理 . 北京 :中国水利水电出版社 ,2009 :391-395.
- [14] 邹用昌 ,杨修群 ,潘志祥 ,等 . CO₂ 倍增对我国东部极端降水的影响 [J]. 气候变化研究进展 ,2008 ,4(2) :1673-1719. (ZOU Yong-chang , YANG Xiu-qun , PAN Zhi-xiang , et al. Effect of CO₂ doubling on extreme precipitation in eastern China[J]. Advances in Climate Change Research ,2008 ,4(2) :1673-1719. (in Chinese))
- [15] 史道济 . 实用极值统计方法 [M]. 天津 :天津科学技术出版社 ,2006.
- [16] 丁裕国 ,江志红 . 极端气候研究方法导论 [M]. 北京 :气象出版社 ,2009.
- [17] 高娟 . 极值分布参数估计方法的研究 [D]. 北京 :华北电力大学 ,2008.
- [18] 李秀敏 . 极值统计模型族的参数估计及其应用研究 [D]. 天津 :天津大学 ,2007.