

# 淮河上游径流年内分配均匀度及变化规律

刘永婷<sup>1,2</sup>, 徐光来<sup>1,2</sup>, 李鹏<sup>3</sup>, 尹周祥<sup>1,2</sup>, 刘继锋<sup>4</sup>, 高超<sup>1,2</sup>

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241003; 3. 河南省驻马店水文水资源勘测局, 河南 驻马店 450003; 4. 信阳市水文水资源勘测局, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 研究淮河上游径流量的年内分配均匀度及其变化周期, 为防洪防汛, 水资源的合理规划管理及区域社会经济可持续发展提供决策依据。选取 1975—2014 年淮河上游 2 个水文代表站点(大坡岭和长台关)实测逐日流量数据, 计算各年平均流量基尼系数和洛伦兹不对称系数, 采用线性倾向率、Mann-Kendall 突变检验、R/S 分析和小波分析等数理统计方法, 分析了淮河上游流量的年内分配均匀度、变化趋势及周期特征。结果表明: (1) 近 40 年淮河上游大坡岭和长台关水文站的逐年平均流量均呈微弱下降趋势, 其线性倾向率分别为  $-1.68 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$  和  $-3.83 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 。年均流量的基尼系数变化幅度不明显, 年平均基尼系数分别为 0.54 和 0.53。洛伦兹不对称系数呈不显著上升趋势, 大于 1 的洛伦兹不对称系数的年份占总年份的比例分别约为 65% 和 57.5%; (2) 2 个水文站的 Hurst 指数都略大于 0.5, 表明存在显著的 Hurst 现象, 即该地区年径流时间序列大体上延续历史变化趋势, 说明在未来一段时间内年径流量仍将微弱减少; (3) 近 40 年淮河上游年径流变化主要存在 3 a, 12 a 和 28 a 的主周期。在气候变化、流域下垫面和人类活动的综合影响下, 河川径流的年内分配均匀度发生着相应变化。

**关键词:** 流量变化; 均匀度; 变化规律; 淮河上游

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0099-06

## Study on Runoff Uniformity and Variation in the Upper Reaches of Huaihe River Basin

LIU Yongting<sup>1,2</sup>, XU Guanglai<sup>1,2</sup>, LI Peng<sup>3</sup>, YIN Zhouxiang<sup>1,2</sup>, LIU Jifeng<sup>4</sup>, GAO Chao<sup>1,2</sup>

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China; 2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui 241003, China; 3. Zhumadian Municipal Bureau of Hydrology, Zhumadian, He'nan 450003, China; 4. Xinyang Municipal Bureau of Hydrology, Xinyang, He'nan 464000, China)

**Abstract:** Taking the upper reaches of Huaihe River Basin as a case study, we investigated the variation of runoff in order to provide the scientific basis for flood control, water resource reasonably planning and economy sustainable development. Based on daily runoff data from 1975 to 2014 in two hydrological stations (Dapoling and Changtaiguan) of Huaihe River, Gini coefficient and Lorenz asymmetry coefficient in two hydrological stations were statistically analyzed after building the Gini coefficient runoff uneven distribution model, annual runoff. The characteristics of annual runoff change were analyzed by using the linear regression, Mann-Kendall (MK) test, rescaled range (R/S) analysis, wavelet transforms and other mathematic statistic methods. Some important results were obtained as follows. (1) The runoff trends of Dapoling and Changtaiguan hydrological stations were weak decrease with time at rates of  $-1.68 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{decade})$  and  $-3.83 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{decade})$ , respectively. Gini coefficient had a non-significant change. The average Gini coefficients of two stations were 0.54 and 0.53, respectively, indicating that the annual distribution of runoff was heterogeneous. The Lorenz asymmetry coefficients ( $S > 1$ ) of two stations accounted for 65% and 57.5%, respectively, indicating that it had greater percentage of the runoff in large runoff months. Lorenz asymmetry coefficient of annual runoff showed insignificant increasing trend, showing that the inhomogeneous degree of the runoff distribution had weak increase. (2) Hurst indexes of the two hydrological stations were slightly great than 0.5 in annual mean runoff by R/S analysis, indicating that there was obvious Hurst phenomenon, and showing that the

slight decreasing trend in upper reaches of the Huaihe River would continue in the near future. (3) The oscillating periods of runoff in the past 40 years had complex variation characters with a nested structure on multiple time scales. The wavelet analysis showed that there were three periodic oscillations of 2~5 years, 10~15 years and 25~30 years. After the analysis of wavelet variance plots, it was found that there were 3 years, 12 years and 28 years periodic fluctuations of annual mean runoff. The two stations might have a quasi-period of 28 years, which need a longer time series to prove. The response of river water resource to both human activities and climate change, as the theoretical basis to understand the river hydrological process and the sustainable use of regional water resources, has gained more and more attentions on water research during the last decades.

**Keywords:** runoff variation; inhomogeneous; periodic properties; the upper reaches of Huaihe River

气候变化和人类活动改变水文循环的现状,引起河川径流在时空上的重新分配。河川径流在时空上的更新,直接影响水资源的合理利用与开发,加剧了洪涝、干旱和季节性的水资源短缺问题等极端水文事件发生的频率和强度,进而对人民生命财产和社会经济发展构成严重威胁<sup>[1]</sup>。随着全球变暖和人类活动综合作用的加剧,反映一个地区水资源丰缺程度的重要平衡指标——流域径流必然受到影响,各流域径流量及其影响因子的变化成为气象水文学研究的热点和难点问题<sup>[2-4]</sup>。近几年来,关于径流变化特征和周期的研究吸引了不少研究人员的关注,孙鹏等<sup>[5]</sup>分析了近40 a来塔里木河流域年径流量、年降水量和年平均气温的周期特征,表明其存在2.0~6.0 a周期变化特征。张健等<sup>[6]</sup>研究表明在受人类活动显著影响下,无定河流域径流的突变年份为1972年,年径流存在6个不同时间尺度的“丰—枯”演变特征。杨鹏鹏等<sup>[7]</sup>利用近50 a南水北调西线引水区水文和气象站点资料,通过相关分析,发现该流域径流量和年平均气温呈负相关,而与年降水呈正相关。

淮河流域地处亚热带与暖温带气候交界处,冬春干旱少雨,夏季闷热多雨,冷暖气和旱涝转变急剧<sup>[1,8]</sup>,因而充分认识淮河流域径流量的变化规律和周期特征,对流域水利工程建设、农业生产和水资源的综合开发利用具有重要指导意义。以往的研究多注重于淮河流域的雨量时空变化<sup>[9]</sup>和极端径流的强度、频率特征<sup>[10]</sup>、演变规律以及统计模型<sup>[11-12]</sup>,而对淮河上游流量年内分布的不均匀性、变化趋势及周期分析较少。本文基于淮河上游的2个水文站1975—2014年的实测日流量资料,利用基尼系数和洛伦兹不均匀系数对平均流量年内分配均匀度进行分析,并采用Mann-Kendall突变检验、R/S分析和小波分析等方法分析淮河上游流量变化趋势和周期性特征。试图全面、客观地评估流量年内分配均匀度及其变化趋势,为流域内水资源的合理规划,管理农业生产,促进区域社会经济可持续发展提供参考。

## 1 研究区概况

淮河干流发源于河南省桐柏山主峰太白顶北麓,位于30°55′—36°36′N,111°55′—121°25′E,介于长江和黄河两流域之间。淮河全长1 000 km,总落差约200 m,流域面积约27万km<sup>2</sup>。淮河干流可以划分为上游、中游和下游三个部分。本文研究的淮河上游是指长台关站以上的地区,流域内地貌以低山丘陵为主,地势由西北向东南逐渐降低。淮河流域属于亚热带向暖温带过渡的季风性气候,其特点是冬春干旱少雨,夏秋闷热多雨,冷暖气和旱涝转变急剧。本文选取淮河上游的大坡岭和长台关2个水文代表站,数据采用1975—2014年实测逐日流量数据,流域位置和站点分布见图1。

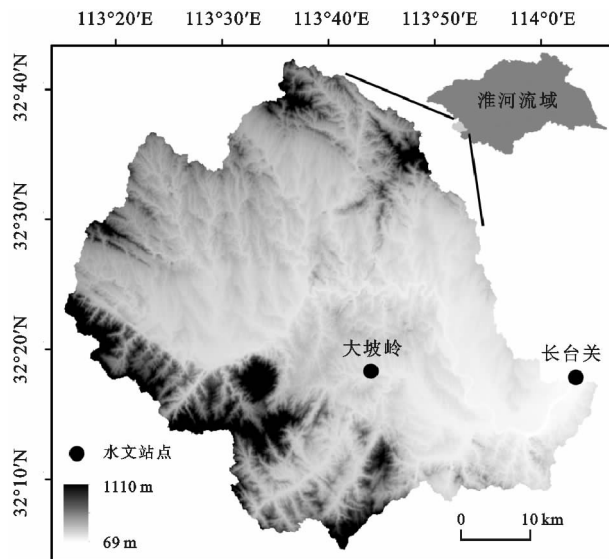


图1 淮河流域示意图

## 2 研究方法

基尼系数是由意大利经济学家基尼所提出,最早用于判断国民收入分配平等程度的指标<sup>[13]</sup>。近年来,许多学者将其逐步引入到水文学领域,将基尼系数用于描述水文年内分配均匀度<sup>[2,14]</sup>。基尼系数取值在0~1之间,基尼系数越大,表示降水或径流量分

布均匀度越低;反之表示均匀度越大<sup>[15]</sup>。基尼系数可以直观表达降水、径流量年内分配均匀程度,关于其计算步骤详见参考文献[14]。基尼系数并不能完全描述洛伦兹曲线的信息,不同的洛伦兹曲线可以有相同的基尼系数。2000 年,Damgaard 等<sup>[16]</sup>根据洛伦兹曲线,提出洛伦兹不对称性系数,用来表明不同等级群体对总的不均匀性贡献大小。洛伦兹不对称性系数大于 1,说明径流量(降雨量)较大的月份占年径流量(降雨量)的比例较大,从而造成了年内径流量(降雨量)分布不均匀性;反之,洛伦兹不对称性系数小于 1,说明引起年内径流量(降雨量)分布不均匀性的原因是径流量(降雨量)较小的月份所占比例大<sup>[17]</sup>。Mann-Kendall 是一种非参数的突变检验法,具有较高的定量化程度,可以检验较宽的范围,明确突变的区域,指出突变开始的时间,基本原理参见文献[18]。重标

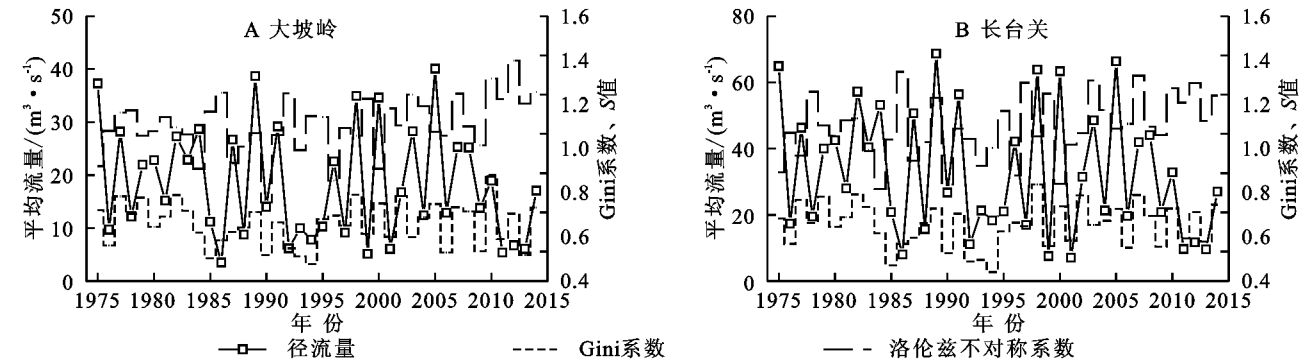


图 2 大坡岭和长台关年平均流量、Gini 系数和洛伦兹不对称系数变化趋势

大坡岭站 1975—2014 年的平均流量为 18.35 m<sup>3</sup>/s,最大流量为 40.1 m<sup>3</sup>/s(2005 年),最小流量为 3.52 m<sup>3</sup>/s(1986 年),逐年平均流量变化呈锯齿形震荡,其线性倾向率为 -1.68 m<sup>3</sup>/(s · 10 a),Mann-Kendall 相关系数检验值 M 值为 -1.12,说明年平均流量总体呈下降趋势,但下降趋势不明显(图 2A 和表 1)。近 40 a 平均基尼系数为 0.54,大于 0.54 的年份有 21 a,约占总年份的 52.5%,表明大坡岭站平均流量年内分配不均匀。洛伦兹不对称系数大于 1 的年份约占总年份的 65%,说明流量较多的月份是

极差法(R/S 分析)是研究非线性时间序列分析法,它在对时间序列长程相关(反相关)持续性(反持续性)的判别方面,具有独特优势,能很好地预测时间序列的未来变化趋势。其具体步骤参见文献[19]。Morlet 小波分析在时域、频域上具有局部辨识力,可诊断出气温序列变化的多层次特征,进而得到周期变化在不同时间尺度上的详细信息<sup>[20]</sup>。在 Matlab 2012 版中使用小波分析年径流时间序列周期,基本原理参见文献[20]。

3 结果与分析

3.1 年内分配均匀度变化

采用 Gini 系数模型,对淮河上游 2 个水文站的年平均流量和逐月平均流量资料的时间分布均匀度进行评价。

引起径流量年内分布不均匀性的主要原因。

如图 2B 和表 1 所示,长台关站近 40 a 的平均流量是 32.85 m<sup>3</sup>/s,最大流量 68.7 m<sup>3</sup>/s(1989 年),最小流量 7.09 m<sup>3</sup>/s(2001 年),其变化趋势与大坡岭变化趋势大体一致,呈现出逐年缓慢减少的趋势。长台关站多年平均基尼系数为 0.53,大于 0.53 的年份有 22 a,约占总年份的 55%,说明近 40 a 来平均流量年内分配较不均匀。洛伦兹不对称系数大于 1 的年份约占总年份的 57.5%,说明流量较大的月份是造成平均流量年内分配不均匀性的主导因素。

表 1 淮河上游各水文站年平均流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数的趋势检验结果

水文站	项目	线性拟合		Mann-Kendall 检验值				R/S 分析	
		k 值	趋势方向	M 值	M 趋势	M <sub>a</sub> = ±0.05	显著性	H 值	未来趋势
大坡岭	径流量	-0.168	减少	-1.12	递减	±1.96	不显著	0.652	递减
	基尼系数	0	不变	-0.12	递减	±1.96	不显著	0.893	递减
	洛伦兹不对称系数	0.004	增加	2.54	递增	±1.96	显著	0.66	递增
长台关	径流量	-0.383	减少	-1.38	递减	±1.96	不显著	0.558	递减
	基尼系数	0	不变	0.23	递增	±1.96	不显著	0.889	递增
	洛伦兹不对称系数	0.005	增加	2.47	递增	±1.96	显著	0.586	递增

由图 2 和表 1 分析可知,大坡岭站和长台关站的流量丰、枯变化过程基本一致,2 站年平均流量均呈下降趋

势,但下降趋势不显著,其中长台关站年际变化率略大于大坡岭站。2 站的年基尼系数变化趋势不明显,表明

年内流量分布均匀度基本保持不变,2站的洛伦兹不对称系数都呈微弱上升趋势,但上升趋势不明显。由此可见淮河上游年均流量呈减少趋势,年内分配均匀度总体保持不变,洛伦兹不对称系数波动变化表明流量较大的月份所占比例较大,主要集中在汛期(6—9月),因此,影响流量变化的主导因素可能是降雨量。汛期月份流量的增大,将会导致水土流失,非汛期流量的减少,容易造成土壤干旱,都将不利于农业生产和生态环境保护。

### 3.2 年平均流量的变化趋势分析

用R/S法计算径流序列的Hurst指数(表1),基于年径流量的历史变化趋势,预估其未来径流量的变化趋势。2站的R/S分布曲线总体呈现相同趋势。大坡岭站径流 $H$ 值为0.625,大于0.5,说明存在比较明显的Hurst现象,表明未来大坡岭站径流量可能依然延续过去的显著减少趋势,而长台关站的径流 $H$ 值为0.558,略大于0.5,表明未来径流可能仍

将呈微弱减少趋势。大坡岭站径流的Hurst指数比较大,持续性较强,而长台关站较小,持续性较弱,从定量角度说明大坡岭站径流减少趋势比长台关站略高。从总体上来看,淮河上游年径流量存在比较明显的Hurst现象,年径流序列总体上依然延续过去的变化趋势。结合Hurst指数和 $M$ 值分析,若淮河上游的气候变化和下垫面人类活动仍保持现在的变化趋势,其径流量在未来一段时间将会继续呈现递减的趋势。

### 3.3 周期性分析

采用Morlet小波对大坡岭和长台关的年径流数据进行周期演变分析,绘制小波变换系数实部等值线图(图3),可以看出年径流量随着不同时间尺度丰、枯交替变化,不同时间尺度对应的年径流量变化结构不同,许多小尺度的变化表现为嵌套在较为复杂的较大尺度的结构当中。

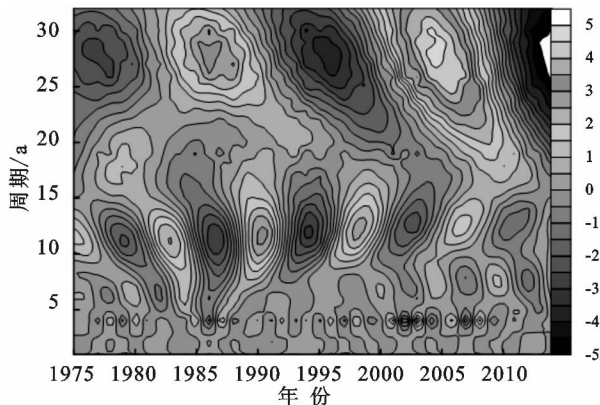
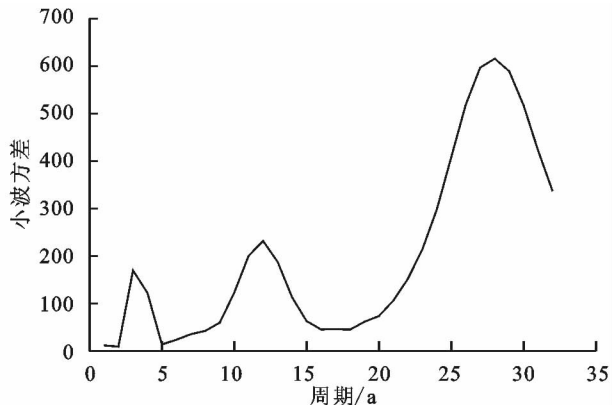


图3 1975—2014年大坡岭站年径流量的小波系数实部等值线和小波方差

图3和图4清晰地显示了年径流量的震荡周期变化特征较为复杂,小波系数的大小表示图中信号的强弱,正值说明径流量偏丰,负值说明径流量偏枯。大坡岭站和长台关站的小波尺度交替变化大致相同,小波系数实部等值线图均显示出2~5a的时间尺度,年径流量



变化周期较复杂,突变点比较多,波动极值点分布较散乱。2站都在11~14a特征尺度信号震荡最强烈,所以可推测年径流量变化可能存在11~14a的周期,并且25~30a尺度也呈现比较强烈的震荡,说明2站年径流量可能也出现25~30a周期。

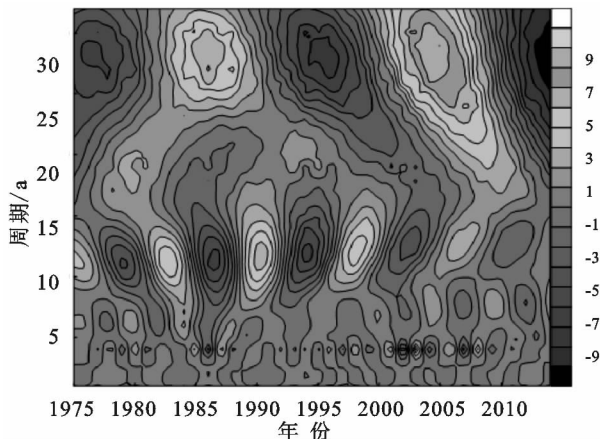
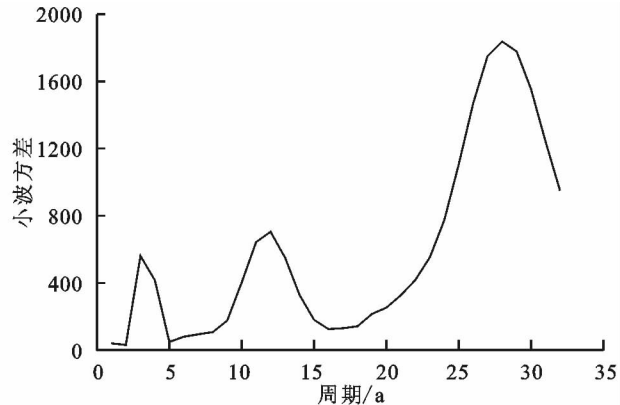


图4 1975—2014年长台关站年径流量的小波系数实部等值线和小波方差



通过以上分析,可知淮河上游年径流量序列在时

域和频域尺度的径流量变化强弱和波动情况,但是并

不能确定其具体周期。为了进一步明确主要周期,采用小波方差分析法,来分析年径流量随时间变化的主周期。由图3和图4可知,大坡岭站和长台关站年径流量距平序列都有3个峰值,分别对应3 a、12 a和28 a的时间尺度,其中12 a和28 a对应的小波方差值较大,说明其径流量12 a和28 a左右的周期震荡较强。因此,大坡岭站和长台关站年径流量均存在12 a和28 a的主周期,且2站的年径流量变化具有同步性和一致性。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

在全球变暖、局地水循环、流域下垫面及人类活动等多种因素的驱动下,河川径流的年内分配规律发生着相应的变化。影响淮河上游流量的因素很多。Zhang等<sup>[21]</sup>认为,由于水利工程或设施的调控作用,近年来淮河流域径流量受其影响程度从上游到下游是逐渐递增的。唐为安等<sup>[22]</sup>研究表明,引起淮河干流径流量变化的主导因素是人类活动造成的土地利用变化,对上游径流量变化的贡献率比较高,而降水的贡献率相对较低,但其影响也不容忽视。张晓红等<sup>[9]</sup>则认为淮河区域实测径流量受降水的影响比较大,人类活动对其影响不显著。

上述研究表明,水利工程、人类活动和降水均会造成流域径流变化,由于选取的流域内气象和水文站点的不同,得出的结果也会存在一定差异。淮河中下游地区城市化发展速度快,受人类活动影响大,防洪、灌溉及生活用水等的需要,修建的水利工程也比较多,所以对流域径流量影响较大。本文所选取的水文站点均位于淮河上游,由于该区域无大型水库,受地理位置和地形的制约,城市化发展缓慢,下垫面变化不显著,气候变化是影响该流域径流量的主要因素。

通过对淮河上游2个水文站的径流序列分析表明,淮河上游的年平均流量呈现逐年微弱下降趋势,这与潘扎荣<sup>[11]</sup>、王振龙<sup>[23]</sup>的研究结果相吻合。近40 a淮河上游平均流量年内分配较不均匀,洛伦兹不对称系数波动变化表明流量较大的月份所占比例较大,而流量较大的月份主要集中在汛期。郑泳杰等<sup>[24]</sup>指出淮河流域年降水总量呈轻微下降趋势,尤其在流域西北部和上游地区变化显著,这与本文得出的年径流量的变化趋势基本一致。综上所述,降水可能是影响淮河上游实测径流的重要因素,人类活动在一定程度上改变了流域水文过程。本文只是揭示了其中的一些统计事实,如何定量区分影响流域径流变化的各个因素,还需要更深层次的模拟分析。

相关研究指出,全球气候变暖、各地区的降水异常、厄尔尼诺及拉尼娜现象与该时期的太阳黑子活动有着重要联系<sup>[25]</sup>。王兆礼等<sup>[26]</sup>研究发现,东江径流量的丰、枯与太阳黑子数的急剧变化有一定的响应关系。淮河上游的年径流量存在11~14 a的震荡周期,与太阳黑子11 a的震荡周期相吻合<sup>[27]</sup>,由于本文研究的年径流序列不够长,是否与其更长的震荡周期保持一致,还需要更深入的研究分析。

### 4.2 结论

(1) 大坡岭站和长台关站的逐年平均流量呈锯齿状震荡,年际变化率分别为 $-1.68 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 和 $-3.83 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ ,可见近40 a来淮河上游年均流量呈现微弱递减趋势。2站的基尼系数分别为0.54和0.53,并且2站的洛伦兹不对称系数大于1的年份占总年份的比例都比较高,表明淮河上游年均流量年内分配不均匀和平均流量较大的月份所占比例较高。淮河流域属于典型的季风性气候,降雨量年内分配不均匀,从而导致了年内流量分布不均匀,这也是淮河流域旱涝灾害多发的重要原因。

(2) 大坡岭站和长台关站的径流序列Hurst指数都大于0.5,表明具有比较显著的Hurst现象,即该地区的径流时间序列在不同时间段,具有长期相关性的特点,说明近40 a来淮河上游年径流变化存在较强的趋势性成分,未来年径流量可能仍将呈不显著递减趋势。

(3) 大坡岭站和长台关站在2~5 a、10~15 a和25~30 a尺度范围内都呈现比较强烈的周期震荡,由小波方差图可知2站年径流变化均存在3 a、12 a和28 a变化的主周期,这不仅说明2站的年径流变化具有同步性和一致性,由此可以推测,淮河上游年径流量呈3 a、12 a和28 a的主周期变化规律。

### 参考文献:

- [1] 高超,陈实,翟建青,等.淮河流域旱涝灾害致灾气候阈值[J].水科学进展,2014,25(1):36-34.
- [2] 顾西辉,张强,陈晓宏.中国降水及流域径流均匀度时空特征及影响因子研究[J].自然资源学报,2015,30(10):1714-1724.
- [3] 白桦,穆兴民,高鹏,等.嘉陵江流域降水及径流演变规律分析[J].水土保持研究,2012,19(1):102-106.
- [4] 刘艺,雷晓云,马红刚,等.巴音沟河近60年出山口年径流量演变规律[J].水土保持研究,2016,23(2):139-142.
- [5] 孙鹏,张强,白云岗,等.塔里木河流域径流量周期特征及影响因素[J].地理科学,2013,33(2):216-222.
- [6] 张健,李同昇,张俊辉,等.1933—2012年无定河径流突变与周期特征诊断[J].地理科学,2016,36(3):475-480.
- [7] 杨鹏鹏,黄晓荣,柴雪蕊,等.南水北调西线引水区近50

- 年径流变化趋势对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(2): 271-277.
- [8] 张水峰, 张金池, 闵俊杰, 等. 基于径流分析的淮河流域汛期旱涝急转研究[J]. 湖泊科学, 2012, 24(5): 679-686.
- [9] 张晓红, 陈兴, 罗连升, 等. 1960—2008年淮河流域雨量时空变化及径流响应[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 2051-2058.
- [10] 姚梦婷, 高超, 陆苗, 等. 1959—2008年淮河流域极端径流的强度和频率特征[J]. 地理研究, 2015, 34(8): 1535-1546.
- [11] 潘扎荣, 阮晓红, 朱愿福, 等. 近50a来淮河干流径流演变规律分析[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 51-59.
- [12] 杜鸿, 夏军, 曾思栋, 等. 淮河流域极端径流的时空变化规律及统计模型[J]. 地理学报, 2012, 67(3): 398-409.
- [13] 李如忠, 舒琨. 基于基尼系数的水污染负荷分配模糊优化决策模型[J]. 环境科学学报, 2010, 30(7): 1518-1526.
- [14] 叶琰, 马光文, 龙训建, 等. 金沙江下游及三峡梯级径流及突变分析[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2): 41-44.
- [15] 史婉丽, 杨勤科, 李小芳, 等. 基于洛伦兹曲线的陕北黄土高原降雨分布不均匀性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 172-177.
- [16] Damgard C, Weiner J. Describing Inequality in Plant Size or Fecundity [J]. Ecology, 2000, 81: 1139-1142.
- [17] 王青, 刘招, 陶望雄. 基于洛伦兹曲线的泾河张家山站径流及降雨分布不均匀性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(1): 119-122, 127.
- [18] 张磊, 潘婕, 陶生财. 1961—2011年临沂市气温变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(5): 204-210.
- [19] 李国栋, 张俊华, 王乃昂, 等. 基于重标极差分析和非周期循环分析的气候变化趋势预测: 以兰州市为例[J]. 干旱区研究, 2013, 30(2): 299-307.
- [20] 张健, 李同昇, 张俊辉, 等. 1933—2012年无定河径流突变与周期特征诊断[J]. 地理科学, 2016, 36(3): 475-480.
- [21] Zhang Y Y, Shao Q X, Xia J, et al. Change of flow regimes and precipitation in Huai River Basin in the last half century[J]. Hydrological Processes, 2011, 25(2): 246-257.
- [22] 唐为安, 田红, 卢燕宇, 等. 1961—2012年降水和土地利用变化对淮河干流上中游径流的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(10): 1647-1653.
- [23] 王振龙, 陈玺, 郝振纯, 等. 淮河干流径流量长期变化趋势及周期分析[J]. 水文, 2011, 31(6): 79-85.
- [24] 郑泳杰, 张强, 陈晓宏. 1961—2005年淮河流域降水时空演变特征分析[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2015, 61(3): 247-254.
- [25] Prestes A, Rigozo N R, Echer E, et al. Spectral analysis of sunspot number and geomagnetic indices (1986—2001)[J]. Journal of Atmosphere and Solar-Terrestrial Physics, 2006, 68(2): 182-190.
- [26] 王兆礼, 陈晓宏, 杨涛. 近50a东江流域径流变化及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1365-1374.
- [27] 张晓芳, 刘松涛, 查石祥, 等. 太阳活动11年周期对气象参数影响[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(1): 172-181.

(上接第98页)

- [29] Park J H, Matzner E. Detrital control on the release of dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved inorganic nitrogen (DIN) from the forest floor under chronic N deposition[J]. Environmental pollution, 2006, 143(1): 178-185.
- [30] Brookshire E N J, Valett H M, Thomas S A, et al. Atmospheric N deposition increases organic N loss from temperate forests[J]. Ecosystems, 2007, 10(2): 252-262.
- [31] Pellerin B A, Kaushal S S, McDowell W H. Does anthropogenic nitrogen enrichment increase organic nitrogen concentrations in runoff from forested and human-dominated watersheds[J]. Ecosystems, 2006, 9(5): 852-864.
- [32] 高洪峰, 曹文达, 纪明侯. 海水腐植质的基本化学组成研究[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(1): 35-40.
- [33] 季乃云, 赵卫红. 海洋溶解有机物荧光特征研究进展[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(1): 95-100.
- [34] 傅平青, 刘丛强, 尹沛莹, 等. 腐殖酸三维荧光光谱特性研究[J]. 地球化学, 2004, 33(3): 301-308.
- [35] Nishijima W, Gerald E, Speitle J. Fate of biodegradable dissolved organic carbon produced by ozonation on biological activated carbon[J]. Chemosphere, 2004, 56(2): 113-119.
- [36] 李鸣晓, 何小松, 刘骏, 等. 鸡粪堆肥水溶性有机物特征紫外吸收光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 3081-3085.
- [37] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998(3): 7-11.
- [38] 王薇, 李絮花, 章燕平, 等. 长期定位施肥对盐化潮土土壤腐殖质组分的影响[J]. 山东农业科学, 2008(3): 65-67.
- [39] 张付申, 马爱霞, 胡定宇. 长期施肥对壤土和黄绵土腐殖质结合形态影响及与肥力的关系[J]. 华北农学报, 1997(3): 89-90.
- [40] 武雪萍, 王小彬, 查燕, 等. 施肥对土壤腐殖质总碳和氨基酸氮含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(6): 43-49.
- [41] 张夫道. 长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡对土壤腐殖质积累及其品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(Z1): 10-21.