

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2019.0085

莫崇勋,刘朋,朱新荣,等. 澄碧河流域径流年内分配变化规律分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(4): 63-70. MO C X, LIU P, ZHU X R, et al. Intraannual variation of runoff in the Chengbi River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(4): 63-70. (in Chinese)

## 澄碧河流域径流年内分配变化规律分析

莫崇勋<sup>1,2,3</sup>, 刘朋<sup>1,2,3</sup>, 朱新荣<sup>1,2,3</sup>, 阮俞理<sup>1,2,3</sup>, 杨云川<sup>1,2,3</sup>, 孙桂凯<sup>1,2,3</sup>

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 南宁 530004; 2. 广西大学 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 南宁 530004;  
3. 广西大学 广西防灾减灾与工程安全重点实验室, 南宁 530004)

**摘要:** 基于澄碧河流域坝首和平塘水文站 1963—2014 年逐日实测径流资料, 计算其径流年内分配的不均匀系数、完全调节系数和集中度等八个特征指标, 分析了近 52 a 来该流域径流年内分配的均匀度, 在此基础上, 采用线性倾向估计、Mann-Kendall 趋势检验法和 R/S 分析法研究了澄碧河流域径流年内分配特征指数的变化趋势。结果表明: 近 52 a 来澄碧河流域径流年内分配不均匀性较强, 变化幅度较大; 径流年内分配的洛伦兹不对称系数呈现增加趋势, 其余特征指标均呈现减少趋势; 年内集中期主要在 7 月, 流域径流年内分布不均匀的主要原因是个别月份径流量较大; 八个特征指数的 Hurst 值均大于 0.5, 故可预测澄碧河流域径流年内分配的特征指数序列呈现正持续性, 与过去整体变化趋势保持一致; 随着时间推移, 澄碧河流域径流年内分配不均匀性越来越低, 逐渐由不均匀向相对均匀转变。

**关键词:** 径流; 年内分配; 均匀度; 变化规律; 未来预测; 澄碧河流域

中图分类号: TV213 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Intraannual variation of runoff in the Chengbi River basin

MO Chongxun<sup>1,2,3</sup>, LIU Peng<sup>1,2,3</sup>, ZHU Xinrong<sup>1,2,3</sup>, RUAN Yuli<sup>1,2,3</sup>, YANG Yunchuan<sup>1,2,3</sup>, SUN Guikai<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety under Ministry of Education, Nanning 530004, China;

3. Guangxi Key Laboratory of Disaster Prevention and Engineering Safety, Nanning 530004, China)

**Abstract:** Eight intraannual indexes of runoff, including non-uniform adjustment coefficient and concentration ratio, were calculated for Bashou and Pingtang stations during 1963-2014 in the Chengbi River basin. The trend of annual runoff was detected with linear regression, Mann-Kendall trend test and R/S analysis. The results show that the intraannual runoff distribution is highly uneven in the past 52 years and varies with time in the Chengbi River basin. The inhomogeneity of runoff distribution is increasing, and all other indices decrease. The concentration period is mainly in July, and Lorenz asymmetry coefficient shows that the main cause of uneven annual runoff distribution is the months with larger runoff. The Hurst values of eight indices are all greater than 0.5, which can be used to predict the annual distribution of runoff in the Chengbi River basin. A positive continuity is consistent with the overall trend of the past. The intraannual distribution of runoff became lower and lower as time goes, which gradually transform from non-uniformity to homogeneity processes in the Chengbi River basin.

**Key words:** runoff; annual distribution; homogeneity; variation characteristics; future prediction; the Chengbi River basin

收稿日期: 2018-11-28 修回日期: 2019-03-12 网络出版时间: 2019-03-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190328.1022.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51569003; 51609041); 广西自然科学基金(2017GXNSFAA198361)

作者简介: 莫崇勋(1974—), 男(壮族), 广西忻城人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: mcx@mail.gxu.cn

通信作者: 刘朋(1991—), 男, 河南漯河人, 主要从事水文变异方面研究。E-mail: leolovehydrology@hotmail.com

在气候变化和人类活动加剧的大背景下,我国水文循环过程发生变化,河川径流的年内分配也发生相应的改变,各流域径流量都出现了不同程度的增加或减少趋势,导致旱涝等极端水文事件发生频率增加,直接影响了流域水资源的合理配置、开发与利用<sup>[1-5]</sup>。因此,开展流域径流年内分配和演变规律分析,有助于深入了解流域水资源特性,对流域水资源的可持续开发利用和生态环境保护等方面具有重要意义,也成为当前的研究热点。如张钰等<sup>[6]</sup>通过对洮河流域径流年内分配的研究,结果表明洮河径流年内变化呈现不均匀分配;潘扎荣等<sup>[7]</sup>对淮河干流径流演变规律的分析发现淮河干流径流年内分配极不均衡,年际变化较为剧烈;张晓晓等<sup>[8]</sup>对疏勒河上游径流年内分配进行研究,发现疏勒河径流年内分配过程渐趋均匀;刘永婷等<sup>[9]</sup>研究表明,在气候变化和人类活动的综合影响下,淮河上游径流年内分配均匀度发生着相应变化。澄碧河流域地处中国西南岩溶区地段,而岩溶区流域由于其复杂的下垫面情况,强烈的岩溶作用和大量植被的破坏,地表水迅速转换为地下水,且当前的技术水平难以对岩溶区地下水进行合理开发利用,使得该区域工程性缺水严重,部分地区已成为我国严重缺水的地区,且年内分配特征方面却鲜有研究。鉴于此,本文基于岩溶区流域—澄碧河流域坝首站和平塘站 1963—2014 年逐日径流实测资料,从年内不均匀性、集中程度和变化幅度等方面分析了径流年内分配的变化特征,在此基础上,采用线性倾向估计、Mann-Kendall 趋势检验和 R/S 分析法对径流年内分配的规律和未来变化趋势进行分析,试图揭示澄碧河流域径流年内分配的变化规律,以为流域水资源规划、利用与管理提供科学依据。

## 1 研究区域概况

澄碧河发源于广西凌云县青龙山北麓,流域总面积为 2 087 km<sup>2</sup>,干流河长 127 km,河道比降 3.87‰,总落差 491 m,于城区大码头汇入右江。流域地势西北高而东南低,中低山地地形地貌,沟谷发育,植被茂盛,平均海拔高程 650 m。澄碧河流域属于典型的中国西南岩溶地貌,属亚热带季风气候区,光热充沛,雨热同季,夏长冬短,流域常年平均气温为 22.1℃,多年平均日照 1 750 h,平均相对湿度 76%,平均风速 1.1 m/s,多年平均降水量 1 560 mm,每年 5—9 月降水量约占全年降水量的 87%。多年平均流量约为 37.8 m<sup>3</sup>/s,多年平均径流量 11.92 亿 m<sup>3</sup>,径流年内变化较大。流域内共设有 10

个气象站和两个水文站,其中坝首和平塘水文站是流域内主要的水文站,记录有 1963—2014 年共 52 年逐日径流量资料,该数据资料连续性好且可靠,对澄碧河流域径流年内分配研究具有良好的代表性与合理性(图 1)。

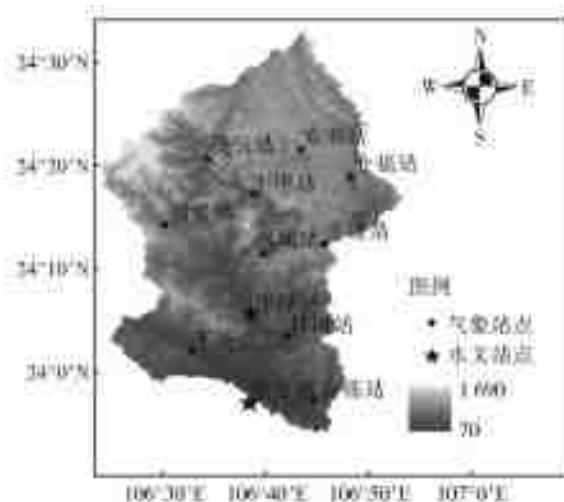


图 1 澄碧河流域 DEM 及站点分布

Fig. 1 DEM and whether stations in the Chengbi River basin

## 2 研究方法

由于气候的季节性波动,导致径流要素也具有季节性的变化,从而在一定程度上决定了其年内分配的不均匀性。为探究澄碧河流域径流年内分配的变化特征及径流年内分配指数随时间的变化规律,本文采用径流年内分配不均匀系数  $C_v$  和完全调节系数  $C_r$ <sup>[10-11]</sup> 来表示澄碧河流域径流年内分配的不均匀性;引入集中度 ( $C_n$ ) 和集中期 ( $D$ )<sup>[12-13]</sup> 反映年内径流的集中程度和年内最大径流量出现的时间;利用基尼系数 (GI) 反映径流水文年内分配均匀程度,洛伦兹不对称性系数 ( $S$ )<sup>[14-15]</sup> 表明各月份径流量对年径流量不均匀性贡献的大小;考虑到径流年内变化具有很强的随机性,分析变化幅度指标时采用相对变化幅度 ( $S_r$ ) 和绝对变化幅度 ( $S_a$ )<sup>[16-17]</sup>,其中各指标的计算公式和判断标准见表 1 及相关参考文献。在此基础上,同时利用线性倾向估计法<sup>[18-19]</sup> 和 M-K 趋势检验法<sup>[20-22]</sup> 对以上八个特征指标进行趋势分析;最后,基于 R/S 分析法<sup>[23-25]</sup> 预测径流年内分配八个特征指标时间序列的未来变化趋势。文中利用 MATLAB 语言编程和 SPSS 进行数据的处理和相关参数的计算,并结合 Origin 软件对计算结果绘图,以期揭示出澄碧河流域径流年内分配的变化特征,并为流域相关管理部门合理开发、利用和管理水资源提供一定的理论指导。

表 1 本研究采用的指标和方法汇总

Tab. 1 Summary of indicators and methods used in this study

指标/方法	基本涵义	计算公式/判断标准
$C_v$	衡量径流年内分配不均匀性 <sup>[10-11]</sup>	$C_v = \sigma \sqrt{R} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2}{12}} / (\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i)$
$C_r$	衡量径流年内分配不均匀程度 <sup>[10-11]</sup>	$C_r = (\sum_{i=1}^{12} \Psi_i (R_i - \bar{R})) / (\sum_{i=1}^{12} R_i)$
$C_n$	表征径流年内分配集中程度 <sup>[12-13]</sup>	$C_n = (\sqrt{R_x^2 + R_y^2}) / R$
$D$	表征全年径流集中的月份 <sup>[12-13]</sup>	$D = \arctan(R_x / R_y)$
GI	表征径流年内分配均匀程度 <sup>[14-15]</sup>	$G = 1 - \frac{1}{n} (2 \sum_{i=1}^{n-1} W_i + 1)$
$S$	衡量径流年内分配不均匀的原因 <sup>[14-15]</sup>	$S = F(\mu) + L(\mu)$
$S_r$	衡量径流年内的变化幅度 <sup>[16-17]</sup>	$S_r = R_{\max} / R_{\min}$
$S_a$		$S_a = R_{\max} - R_{\min}$
线性倾向估计	判断水文时间序列的趋势性 <sup>[18-22]</sup>	$y(t) = a + bt$
Mann-Kendall 趋势检验		检验统计值 $Z$
R/S 分析法	判断水文时间序列的持续性 <sup>[23-25]</sup>	Hurst 指数

### 3 结果与分析

#### 3.1 径流年内分配的变化特征

坝首和平塘水文站 1963—2014 年月径流占年径流的百分比见表 2, 两站年内月径流量最大值基本稳定在 7 月, 分别占年径流量的 23.1% 和 24.5%; 坝首站最小月径流量出现在 1 月, 平塘站最小月径流量出现在 2 月, 分别占全年径流量的 1.12% 和 0.89%; 两站最大月径流量分别达到最小月径流量的 20.6 倍和

27.5 倍。坝首站和平塘站连续最大 4 个月径流量均出现在 6—9 月, 约占全年径流量的 72.27% 和 76.2%; 连续最小 4 个月径流量也都出现在 1—4 月, 约占全年径流量的 6.82% 和 4.89%, 分别为连续最大 4 个月径流量的 9.44% 和 6.42%。两站径流年内分配都呈“不对称单峰型”分布; 坝首站和平塘站一年之内径流变化为: 夏季最高(62.4%, 65.6%), 秋季次之(19.9%, 10.79%), 春季较少(11.4%, 10.47%), 冬季最少(6.3%, 4.14%)。

表 2 澄碧河流域径流年内分配

Tab. 2 Intraannual distribution of runoff in the Chengbi River basin

站名	春季占比/%			夏季占比/%			秋季占比/%			冬季占比/%			最大月	最小月	连续最大 4 个月百分率/%
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月			
坝首站	1.85	2.20	7.35	18.4	23.1	20.9	9.87	6.18	3.85	3.53	1.12	1.65	7	1	72.27(6—9 月)
	11.4			62.4			19.9			6.3					
平塘站	0.98	1.63	7.86	18.6	24.5	22.5	10.6	5.76	3.43	1.86	1.39	0.89	7	2	76.2(6—9 月)
	10.47			65.6			10.79			4.14					

#### 3.2 径流年内分配的特征指标

##### 3.2.1 不均匀系数和完全调节系数

受气候变化的影响, 澄碧河流域气温、蒸发和降雨等水文气象要素均发生明显的季节性变化, 进而导致流域径流年内分配的不均匀性。图 2 和表 3 为澄碧河流域径流年内分配的不均匀系数  $C_v$ , 从中可以看出, 坝首水文站径流年内分配不均匀系数的最大值为 1.58, 最小值为 0.47, 平塘站年内分配不均匀系数的最大值为 1.70, 最小值为 0.73; 坝首和平塘站径流年内分配完全调节系数  $C_r$  的曲线波动与不均匀系数几乎同步, 且变化规律也基本相同, 又从

图 2 和表 3 径流年内分配不均匀系数和完全调节系数的趋势计算结果可以看出, 随着时间推移, 坝首和平塘水文站的  $C_v$  和  $C_r$  值均出现减小的趋势, 这表明澄碧河流域径流年内分配的不均匀性在减弱。

##### 3.2.2 集中度和集中期

坝首和平塘站年径流的集中度趋势分析结果见图 3 和表 3, 坝首站径流集中度的多年平均值为 0.59, 集中度最大值为 0.78, 出现在 1970 年, 最小值为 0.20, 出现在 2011 年, 极差值为 0.58, 极差比为 3.9, 说明径流集中度年际变化剧烈, 总体上, 1963—2014 年坝首站径流集中度呈现显著下降趋势, 说明坝首站径流年内分配差异较大; 平塘站径流

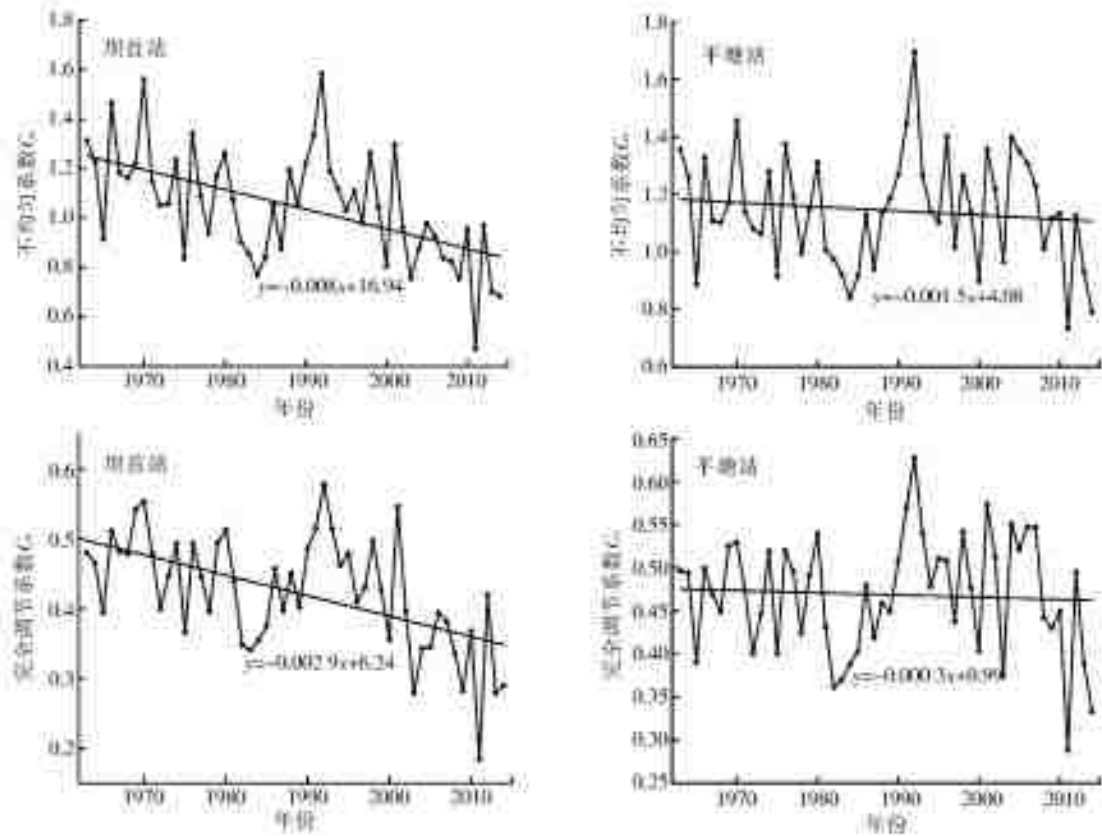


图 2 径流年内分配的不均匀系数和完全调节系数  
Fig. 2 Non-uniform and adjustment coefficient of annual runoff

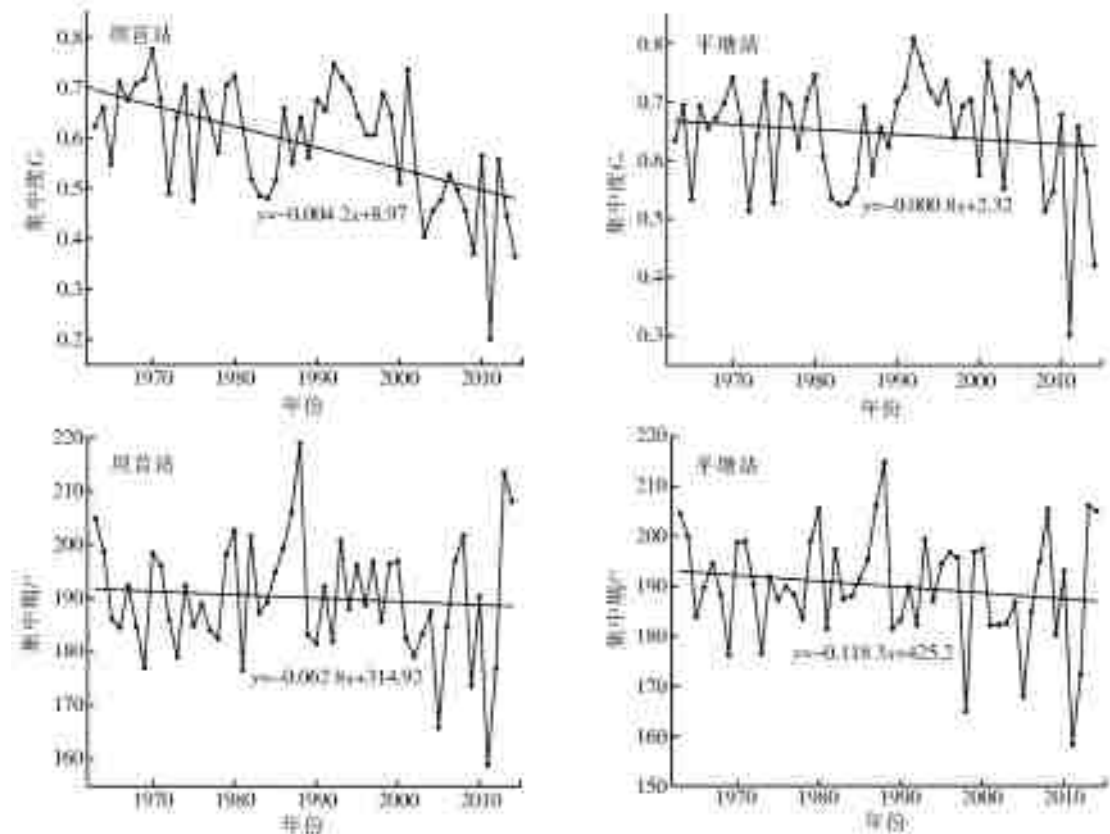


图 3 径流年内分配的集中度和集中期  
Fig. 3 Concentration ratio and concentration period of runoff

集中度的多年平均值为 0.65, 集中度最大值为 0.81, 出现在 1992 年, 最小值为 0.30, 出现在 2011

年, 极差值为 0.51, 极差比为 2.7, 径流集中度年际变化剧烈, 呈现出显著下降趋势, 说明近 52 a 来平

表 3 澄碧河流域径流年内特征指标趋势检验结果  
Tab. 3 Trend test results of runoff characteristics in the Chengbi River basin

特征指标	坝首站					平塘站				
	线性倾向估计		M-K 检验			线性倾向估计		M-K 检验		
	<i>b</i>	趋势	<i>Z</i>	趋势	显著性	<i>b</i>	趋势	<i>Z</i>	趋势	显著性
$C_v$	-0.008 0	减少	-0.412 7	减少	不显著	-0.001 5	减少	-0.828 6	减少	不显著
$C_r$	-0.002 9	减少	-3.653 6	减少	显著	-0.000 3	减少	-0.087 0	减少	不显著
$S_r$	-0.652 5	减少	-4.474 2	减少	显著	-0.022 4	减少	0.007 9	减少	不显著
$S_a$	$-2 \times 10^6$	减少	-0.355 0	减少	不显著	$-1 \times 10^6$	减少	-1.400 0	减少	不显著
$C_n$	-0.004 2	减少	-3.685 1	减少	显著	-0.000 8	减少	-0.007 8	减少	不显著
$D$	-0.062 8	减少	-0.512 3	减少	不显著	-0.118 3	减少	-0.955 0	减少	不显著
GI	-0.003 3	减少	-3.716 7	减少	显著	-0.000 3	减少	-0.087 0	减少	不显著
$S$	0.0028	增加	2.343 6	增加	显著	0.000 4	增加	0.670 7	增加	不显著

塘站年径流年内分布情况年际差异大。

坝首站径流集中期的多年平均值为  $190.1^\circ$  (7月25日),最大值为  $218.8^\circ$  (8月24日),出现在1988年,最小值为  $159^\circ$  (6月24日),出现在2011年,总体上52 a坝首站径流集中期呈现不显著下降趋势;平塘站径流集中期的多年平均值为  $190^\circ$  (7月25日),最大值为  $215^\circ$  (8月20日),出现在1988年,最小值为  $158^\circ$  (6月23日),出现在2011年,近52 a来平塘站径流集中期也呈现不显著下降趋势。两水文站集中期均介于6—8月(后汛期)之间,因此在汛末为充分利用雨洪资源,建议

流域相关部门在后汛期增加水库的蓄水量,使非汛期有水可用。

### 3.2.3 基尼系数和洛伦兹不对称系数

由图4和表3澄碧河流域年径流基尼系数的趋势分析结果可知,坝首站径流多年平均基尼系数为0.48,大致分布在0.21和0.65之间,其中,存在40 a基尼系数大于0.4,这表明坝首站年内径流分布极不均匀,比较容易发生洪旱灾害;平塘站径流多年平均基尼系数为0.52,大致分布在0.32和0.70之间,其中,存在50 a基尼系数大于0.4,这表明平塘站年内径流分布比坝首站更不均匀,更易发生洪旱灾害。

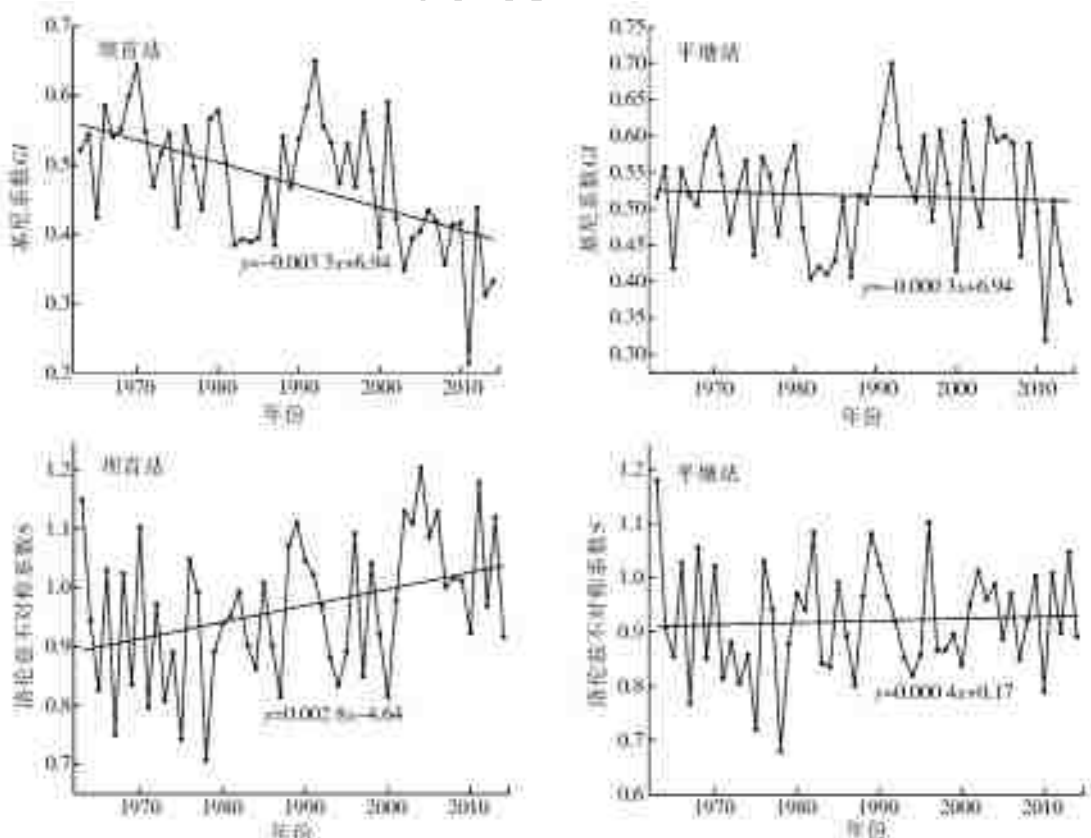


图 4 径流年内分配的基尼系数和洛伦兹不对称系数

Fig. 4 Gini coefficient and Lorenz asymmetry coefficients of runoff

同时结合图 4 和表 3 澄碧河流域径流的洛伦兹不对称系数可以看出,坝首站径流多年平均洛伦兹不对称系数为 0.96,有 30 年的洛伦兹不对称系数小于 1,占到全部时段的 58%,说明造成坝首站径流年内分配不均匀较大的因素是径流量较大的月份;平塘站径流多年平均洛伦兹不对称系数为 0.92,有 39 年的洛伦兹不对称系数小于 1,占到全部时段的 75%,说明造成平塘站径流年内分配不均匀较大的因素也是径流量较大的月份。

### 3.2.4 变化幅度

澄碧河流域径流年内分配的相对变化幅度和绝对变化幅度的趋势计算结果见图 5 和表 3,坝首站径流绝对变化幅度最大值为 19.7 亿 m<sup>3</sup>(1976 年),最小值为 3.8 亿 m<sup>3</sup>(2011 年),年平均绝对变化幅

度是 9.5 亿 m<sup>3</sup>,径流相对变化幅度最大值为 72(1970 年),最小值为 4.5(2011 年),多年平均相对变化幅度是 28.5,总体上,坝首站径流绝对变化幅度呈显著下降趋势,相对变化幅度呈不显著下降趋势,表明坝首站年内最大月径流量与最小月径流量的差距逐渐缩小,径流年内分配渐趋均匀;平塘站径流绝对变化幅度最大值为 4.8 亿 m<sup>3</sup>(1967 年),最小值为 1.08 亿 m<sup>3</sup>(2011 年),年平均绝对变化幅度是 3.28 亿 m<sup>3</sup>,径流相对变化幅度最大值为 309.5(1999 年),最小值为 10.2(2011 年),多年平均相对变化幅度是 50.4,结合图 5 可知,平塘站径流绝对变化幅度和相对变化幅度呈不显著下降趋势,表明平塘站年内最大月径流量与最小月径流量的差距也逐渐缩小,径流年内分配渐趋均匀。

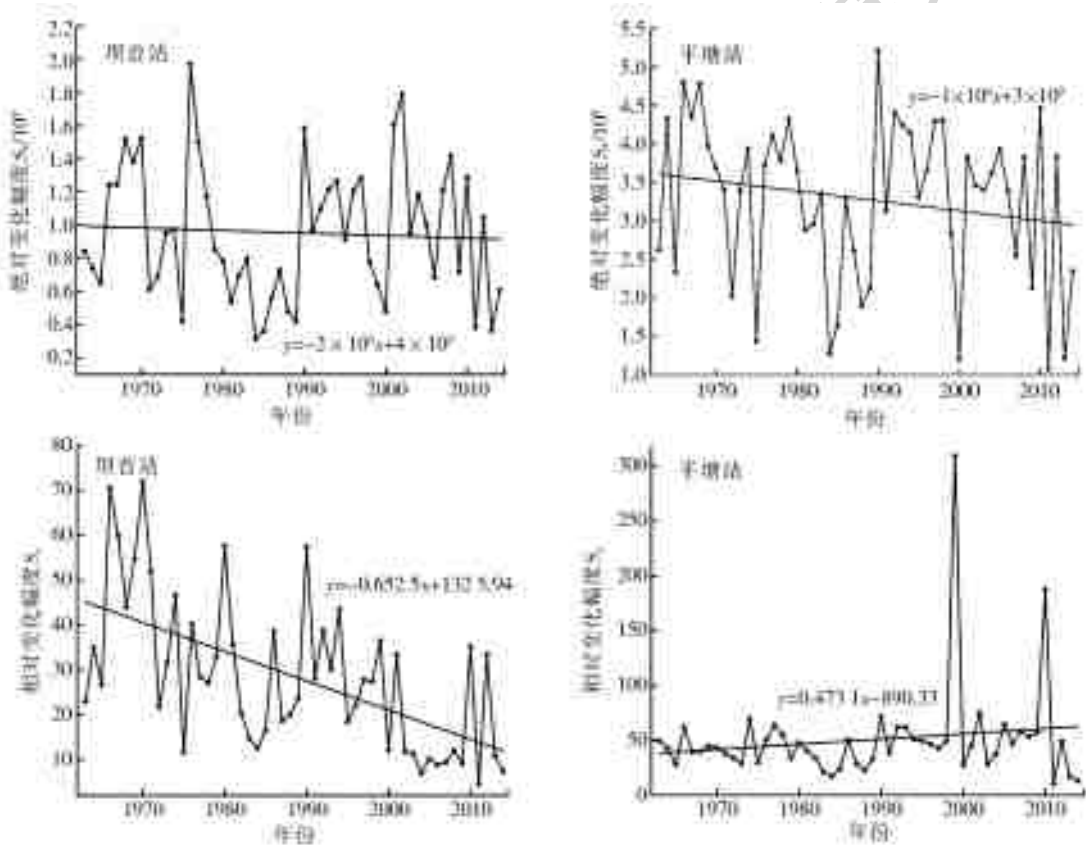


图 5 径流年内分配的相对变化幅度和绝对变化幅度

Fig. 5 Variations of absolute and relative amplitudes of runoff

### 3.3 径流年内分配特征值的持续性分析

利用 R/S 分析法计算澄碧河流域径流年内分配八个特征指标的 Hurst 值见表 4。结合表 4 的计算结

果可知,流域内八个特征指标的 Hurst 值均大于 0.5,故可预测两站径流年内分配 8 个特征指标序列呈现显著的正持续性,与 1963—2014 年的整体变化趋势

表 4 澄碧河流域径流年内特征指标变化持续性

Tab. 4 Persistence of runoff indices in the Chengbi River basin

站点	C <sub>v</sub>	C <sub>r</sub>	S <sub>r</sub>	S <sub>a</sub>	C <sub>n</sub>	D	GI	S
坝首站	0.753 6	0.737 6	0.761 5	0.707 5	0.738 8	0.718 8	0.743 1	0.805 5
平塘站	0.800 6	0.807 2	0.698 4	0.701 1	0.776 7	0.660 7	0.798 4	0.636 5

保持一致,依据 Hurst 指数可以看出,在全球气候变化保持现在发展趋势或者变化更为激烈的大背景下,两站径流年内分配八个特征指标序列将继续呈现目前的变化趋势,且短时期内不会发生逆转。

#### 4 结 论

(1)澄碧河流域径流年内分配曲线为“不对称单峰型”,径流年内分配极不均匀,坝首和平塘水文站年径流量多集中在夏季,分别占全年径流量的 62.4% 和 65.6%,连续最大 4 个月径流量分别占年径流量的 72.27% 和 76.2%,平塘站径流的年内分配较坝首站更加不均匀;两站径流集中期均介于在 6 月—8 月(后汛期)之间,建议流域相关部门在汛末增加水库需水量,使非汛期有水可用。

(2)近 52 a 来坝首站  $C_v$ 、 $S_a$  和  $D$  呈现不显著减少趋势, $C_r$ 、 $S_r$ 、 $C_n$  和  $GI$  呈现显著减少趋势, $S$  呈现显著增加趋势;平塘站  $C_v$ 、 $C_r$ 、 $S_a$ 、 $C_n$ 、 $D$ 、 $S_r$  和  $GI$  呈现不显著减少趋势, $S$  呈现不显著增加趋势;这表明随着时间推移,澄碧河流域径流年内分配趋向于均匀。

(3)澄碧河流域径流年内分配的 8 个特征指标变化过程基本一致,各指标的变化过程都呈现波状起伏过程,但变化幅度略有不同。8 个特征指标的 Hurst 指数均大于 0.5,表明在未来的一段时间内,流域内径流年内分配 8 个特征指标序列将呈现显著的正持续性,与过去整体变化趋势保持一致,且短时期内不会发生逆转。

#### 参考文献(References):

[1] 田黎明,齐识,马金珠,等.白龙江流域上游径流年内分配变化规律分析[J].水文,2012,32(4):82-87. (TIAN L M, QI S, MA J Z, et al. Changes of annual runoff distribution in upper Bailongjiang River [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(4): 82-87. (in Chinese))

[2] WILSON D, HISDAL H, LAWRENCE D. Has streamflow changed in the Nordic countries Recent trends and comparisons to hydro-logical projections[J]. Journal of Hydrology, 2010, 394: 334-346. DOI: 10. 1016/j. jhydrol. 2010. 09. 010.

[3] 涂新军,陈晓宏,张强,等.东江径流年内分配特征及影响因素贡献分解[J].水科学进展,2012,23(4):465-474. (TU X J, CHEN X H, ZHANG Q, et al. Streamflow annual distribution and its influencing factors in Dongjiang River, south China [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(4): 465-474. (in Chinese)) DOI: 10. 14042/j. cnki. 32. 1309. 2012. 04. 016.

[4] HANNAH D M, SMITH B P G, GURNELL A M, et al. An approach to hydrograph classification [J].

Hydrological Processes, 2000, 14: 317-338. DOI: 10. 1002/(SICI) 1099-1085 (20000215) 14: 2 < 317:: AID-HYP929 > 3. 0. CO; 2-T.

[5] 乔木,周生斌,卢磊.艾比湖流域年径流变化特征分析[J].水土保持学报,2010,24(6):236-239. (QIAO M, ZHOU S B, LU L. Trends in runoff variations of the Ebinur Lake basin during the last 48 years [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(6): 236-239. (in Chinese)) DOI: 10. 13870/j. cnki. stbcbx. 2010. 06. 006.

[6] 张钰,唐颖丰,韩克明,等.洮河流域径流年内分配变化规律分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(9):71-74. (ZHANG Y, TANG Y F, HAN K M, et al. Disciplines for the decadal distribution of the channel runoff in the Tao River basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 71-74. (in Chinese)) DOI: 10. 13448/j. cnki. jalre. 2011. 09. 037.

[7] 潘扎荣,阮晓红,朱愿福,等.近 50 年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. (PAN Z R, RUAN X H, ZHU Y F, et al. Analysis of variation in runoff of the main stream of Huaihe River in the past 50 years [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(1): 51-59. (in Chinese)) DOI: 10. 13870/j. cnki. stbcbx. 2013. 01. 007.

[8] 张晓晓,张钰,徐浩杰.疏勒河上游径流年内分配变化规律分析[J].人民黄河,2014,36(6):58-60. (ZHANG X X, ZHANG Y, XU H J. Changes of annual runoff distribution on the upper reaches of the Shule River [J]. Yellow River, 2014, 36(6): 58-60. (in Chinese))

[9] 刘永婷,徐光来,李鹏,等.淮河上游径流年内分配均匀度及变化规律[J].水土保持学报,2017,24(5):99-104. (LIU Y T, XU G L, LI P, et al. Study on runoff uniformity and variation in the upper reaches of Huaihe River basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 99-104. (in Chinese)) DOI: 10. 13869/j. cnki. rswc. 2017. 05. 015.

[10] 王万瑞,王刘明,张雪蕾,等.1956-2015 年洮河径流演变特征研究[J].中国农村水利水电,2015,54(1):92-99. (WANG W R, WANG L M, ZHANG X L, et al. Changeable characteristics of channel discharge in the Taohe River basin from 1956 to 2015 [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2015, (11): 81-84. (in Chinese)) DOI: 10. 16783/j. cnki. nwnuz. 2018. 01. 015.

[11] 张钰,唐颖丰,韩克明,等.洮河流域径流年内分配变化规律分析[J].干旱区资源与环境,2011(9):71-74. (ZHANG Y, TANG Y F, HAN K M, et al. Disciplines for the decadal distribution of the channel runoff in the Tao River basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011(9): 71-74. (in Chi-

- nese)) DOI:10.13448/j.cnki.jalre.2011.09.037.
- [12] 叶正伟,殷鹏.淮河流域汛期尺度降水集中度与集中期的时序变化特征[J].水土保持研究,2018,25(5):295-299. (YE Z W, YIN P. Changes of precipitation concentration degree and precipitation concentration period in flood season in the Huaihe River basin [J]. Research of soil and water Conservation, 2018, 25 (5): 295-299. (in Chinese)) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2018.05.042.
- [13] 杨金虎,靳荣,刘晓云,等.西北地区东部汛期降水季节内分布特征分析[J].干旱区研究,2017,40(5):942-950. (YANG J H, JIN R, LIU X Y, et al. Inter-seasonal distribution pattern of rainy season precipitation in the east region of northwest China [J]. Arid Land Geography, 2017, 40(5): 942-950. (in chinese)) DOI:10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2017.05.003.
- [14] 侯凯,林涛,钱会,等.武功地区气候变化特征及趋势预测[J].水土保持研究,2017,24(4):252-258. (HOU K, LIN T, QIAN H, et al. Change characteristics and trend prediction of climate in Wugong Area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24 (4): 252-258. (in chinese)) DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2017.04.040.
- [15] 徐万玲,朱卫红,张健,等.基于洛伦兹曲线的图们江干流区间径流分布不均匀性分析[J].水土保持通报,2015,35(1):128-132. (XU W L, ZHU W H, ZHANG J, et al. Change characteristics and trend prediction of climate in Wugong area [J]. Bulletin of soil and water conservation, 2015, 35 (1): 128-132. (in Chinese)) DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.024.
- [16] 郭巧玲,杨云松,畅祥生,等.1957—2008年黑河流域径流年内分配变化[J].地理科学进展,2011,30(5):550-556. (GUO Q L, YANG Y S, CHANG X S, et al. Annual variation of Heihe River runoff during 1957-2008 [J]. Progress in Geography, 2011, 30 (5): 550-556. (in Chinese))
- [17] 黄济琛,陆宝宏,范仲丽,等.清江流域降水径流年内分配特征及其同步性分析[J].三峡大学学报(自然科学版),2017,39(6):25-30. (HUANG J S, LU B H, FAN Z L. Analysis of annual distribution of precipitation and runoff and synchronism of their variation in Qingjiang basin [J]. Journal of Three Gorges University (Natural Sciences), 2017, 39(6): 25-30. (in Chinese)) DOI:10.13393/j.cnki.issn.1672-948x.2017.06.006.
- [18] 刘泓志,肖长来,张岩祥,等.吉林省西部 52 年降水量分布演变特征及趋势分析[J].水电能源科学,2015,33(6):11-14. (LIU H Z, XIAO Z L, ZHANG Y X, et al. Temporal characteristics and trend analysis of precipitation in past 52 years in western Jilin Province [J]. Water Resources and Power, 2015, 33(6): 11-14. (in Chinese))
- [19] 曹伟征,邢贞相,李衡,等.佳木斯地区 1956—2010 年径流量时间序列变异分析[J].水土保持研究,2018,25(6):126-130. (CAO W Z, XING Z X, L H, et al. Time series analysis on runoff in Jiamusi area from 1956 to 2010 [J]. Research of soil and water Conservation, 2018, 25(6): 126-130. (in Chinese)) DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2018.06.019.
- [20] 叶许春,许崇育,张丹,等.长江中下游夏季降水变化与亚洲夏季风系统的关系[J].地理科学,2018,38(7):1174-1182. (YE X C, XU C Y, ZHANG D, et al. Variation of summer precipitation and its connection with asian monsoon system in the middle-lower Yangtze River basin [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38 (7): 1174-1182. (in Chinese)) DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2018.07.019.
- [21] GUO L P, LI L H. Variation of the proportion of precipitation occurring as snow in the Tian Shan Mountains, China [J]. International Journal of Climatology, 2015, 35 (7): 1379-1393. DOI:10.1002/joc.4063.
- [22] 马齐云,张继权,来全,等.1960—2014 年松嫩草地极端气候事件的时空变化[J].应用生态学报,2017,28(6):1169-1778. (MA Q Y, ZHANG J Q, LAI Q, et al. Temporal and spatial variations of extreme climatic events in Songnen Grassland, northeast China during 1960-2014 [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28 (6): 1174-1182. (in Chinese)) DOI: 10.13287/j.1001-9332.201706.002.
- [23] 曹广超,付建新,李玲琴,等.1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区气温时空变化特征[J].自然资源学报,2018,25(3):88-96. (CAO G C, FU J X, LI L Q, et al. Analysis on temporal and spatial variation characteristics of air temperature in the south slope of Qilian mountains and its nearby regions during the period from 1960 to 2014 [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 26(1): 102-105. (in Chinese)) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2018.03.014.
- [24] RAY R, KHONDEKAR M H, GHOSH K, et al. Scaling and nonlinear behaviour of daily mean temperature time series across India [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2016, 84: 9-14. DOI:10.1016/j.chaos.2015.12.016.
- [25] 马雪宁,张明军,黄小燕,等.黄河上游流域近 49a 气候变化特征和未来变化趋势分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):17-23. (MA X N, ZHANG M J, HUANG X Y, et al. Characteristics of climate change and future trend in the upper Yellow River basin from 1960 to 2008 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26 (6): 17-23. (in Chinese)) DOI:10.13448/j.cnki.jalre.2012.06.029.